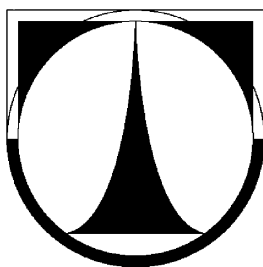


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ



**VÝROBA LITINY S KULIČKOVÝM GRAFITEM
S VYŠŠÍM OBSAHEM SI PRO AUTOMOBILOVÝ
PRŮMYSL**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Libor Junek

2008

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra strojírenské technologie



Studijní program **M 2301** Strojní inženýrství
Studijní obor **2303T002** Strojírenská technologie

Zaměření
Strojírenská metalurgie

**Výroba litiny s kuličkovým grafitem s vyšším
obsahem Si pro automobilový průmysl**

**Production of spheroidal graphite cast iron with
higher silicon content for automobile industry**

Libor J u n e k
KSP – SM – 533

Vedoucí práce: Prof. Ing. Iva Nová, CSc.
Konzultant: Ing. Jan Šmrha
Vedoucí katedry: Doc. Dr. Ing. Petr Lenfeld

Rozsah práce a příloh:

Počet stran: 74
Počet tabulek: 21
Počet obrázků: 96
Počet příloh: 0

23.5. 2008

A N O T A C E
TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní
Katedra strojírenské technologie
Oddělení Slévárenské metalurgie a svařování

Studijní program: M2301 – Strojní inženýrství

Diplomant: Libor Junek

Téma práce: Výroba litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si pro automobilový průmysl

Production of spheroidal graphite cast iron with higher silicon content for automobile industry

Číslo DP: KSP – SM – 533

Vedoucí DP: prof. Ing. Iva Nová, CSc. - *TU v Liberci*

Konzultant: Ing. Jan Šmrha, – *TU v Liberci*

Abstrakt:

Diplomová práce se zabývá výrobou litiny s kuličkovým grafitem a vlivem křemíku na mechanické vlastnosti a strukturu litiny, shrnuje dosavadní poznatky a popisuje změny při výrobě tenkostěnných odlitků.

Klíčová slova: litina s kuličkovým grafitem, křemík, mechanické vlastnosti, struktura.

Abstract:

Diploma thesis deals with production of spheroidal graphite cast iron and with effect of silicon content on mechanical properties and structure of cast iron, summarizes existing informations and describes the changes of casting with thin walls by their production.

Key words: spheroidal graphite cast iron, silicon, mechanical properties, structure.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 23. května 2008

.....

Libor Junek
Čálovice 20
507 43 Sobotka

P o d ě k o v á n í

Děkuji všem, kteří svou pomocí přispěli ke vzniku této diplomové práce. Zejména prof. Ing. Ivě Nové, CSc. a Ing. Janu Šmrhovi za vedení a odborné rady a připomínky. Dále panu Drahoslavu Vinšovi za praktickou pomoc při provádění experimentálních prací, zaměstnancům firmy Komerční slévárna šedé a tvárné litiny v Turnově za provedené testy chemického složení a panu Jiřímu Vostárkovi za obrobení vzorků pro tahovou zkoušku.

Největší dík patří mým rodičům a přítelkyni za podporu během celého studia.

OBSAH

Seznam použitých zkratk a symbolů	9
1. ÚVOD	10
2. REŠERŠNÍ ČÁST PRÁCE.....	11
2.1 Litiny.....	11
2.1.1 Charakteristika grafitických litin	11
2.2 Hodnocení LKG.....	12
2.2.1 Tvar grafitu.....	12
2.2.2 Rozložení grafitu.....	12
2.2.3 Velikost grafitu	13
2.2.4 Četnost grafitových zrn.....	14
2.3 Základní druhy litin	14
2.3.1 Litina s lupínkovým grafitem (LLG).....	14
2.3.2 Litina s kuličkovým grafitem (LKG).....	16
2.3.3 Litina s červíkovitým grafitem (LČG).....	17
2.4 Druhy tavicích zařízení pro LKG	18
2.4.1 Elektrické indukční pece.....	18
2.4.1.1 Indukční kanálkové pece	19
2.4.1.2 Elektrické kelímkové pece	19
2.4.2 Elektrické obloukové pece	20
2.4.3 Rotační bubnové pece	20
2.5 Metalurgické zásady výroby litiny s kuličkovým grafitem	21
2.5.1 Očkování.....	21
2.5.2 Modifikace.....	23
2.6 Suroviny pro výroby litiny s kuličkovým grafitem	27
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST PRÁCE	28
3.1 Charakteristika pískové slévárenské formy.....	28
3.2 Příprava taveniny pro výrobu odlitků z LKG s vyšším obsahem Si	30
3.2.1 Postup tavby pro přípravu taveniny LKG.....	31
3.3 Sledování struktury a vlastností získaných odlitků.....	34
3.3.1 Sledování chemického složení litiny.....	34
3.3.2 Sledování struktury odlitků.....	34
3.3.3 Sledování tvrdosti odlitků.....	55
3.3.4 Sledování pevnosti v tahu zkušebních tělísek odlitků	58
3.3.4.1 Popis měřicího zařízení	59
3.4 Vyhodnocení experimentů	62
3.4.1 Vyhodnocení bloků tvaru Y.....	62
3.4.2 Vyhodnocení destiček.....	64
4. DISKUSE VÝSLEDKŮ	69
5. ZÁVĚR	72
6. SEZNAM LITERATURY	74

Seznam použitých zkratk a symbolů

A	- tažnost [%]
HB	- tvrdost dle Brinella
KVZ	- kovy vzácných zemin
LČG	- litina s červíkovitým grafitem
LKG	- litina s kuličkovitým grafitem
LLG	- litina s lupínkovitým grafitem
R_m	- mez pevnosti v tahu [MPa]
P	- perlit
Fe	- ferit

1. ÚVOD

V současné době se odlitky ze slitin železa uplatňují ve všech odvětvích průmyslu, jedná se např. o stavebnictví, energetiku ale i o různá strojní zařízení. Jeden z největších odběratelů slévárenských produktů je automobilový průmysl. Na odlitky pro toto odvětví jsou kladeny velmi vysoké nároky, sledují se mechanické vlastnosti a chemická čistota. Protože tyto odlitky jsou často tvarově složité a mají různé tloušťky stěn, je nutno sledovat celý proces výroby odlitku od přípravy vsázky až po expedici. Významným faktorem pro použití je hmotnost odlitku, která by měla být co nejnižší. I přes rychle rostoucí nároky na odlitky, např. přesnost a zaručené mechanické vlastnosti, je určujícím faktorem pro průmyslové aplikace jejich cena. Ocelové odlitky jsou v mnoha případech nahrazovány litinovými, z důvodu menších nákladů při výrobě bez zásadního vlivu na funkčnost součástí.

Oceli na odlitky se podobnými vlastnostmi nejvíce blíží litina s kuličkovým grafitem (LKG), v minulosti označována jako tvárná litina. LKG má vynikající slévárenské, mechanické, fyzikální a únavové vlastnosti. LKG byla vynalezena v roce 1949 a patentována pod číslem US Patent Nu. 2.485.760 [1]. Široké uplatnění LKG je zásluhou kombinace vlastností základního kovu a vyloučeného grafitu. Kuličkový grafit má nejpříznivější tvar z hlediska porušování celistvosti matrice litiny, která je v tomto případě složena z feritu a perlitu.

Problematikou výroby různých typů litin se řadu let zabývají i pracovníci Katedry strojírenské technologie - FS, TU v Liberci, kteří řeší výrobu litiny s kuličkovým a červíkovitým grafitem.

Také problematikou výroby a metalurgie litiny se zabývá má diplomová práce, která je řešena na téma: „Výroba litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si pro automobilový průmysl“.

Diplomová práce byla řešena s podporou výzkumného záměru MSM 4674788501.

2. REŠERŠNÍ ČÁST PRÁCE

2.1 Litiny [2]

Litiny jsou slitiny železa a uhlíku, křemíku, manganu a dalších prvků. Obsah uhlíku je vyšší než maximální rozpustnost uhlíku v austenitu (2,11 % C, při teplotě 1147 °C). Litina se vyrábí roztavením surovin jako je surové železo, vratný materiál, litinové zlomky, ocelový odpad a další prvky. Tavicí agregáty pro výrobu litiny jsou elektrické indukční pece, elektrické obloukové pece a kuplovny.

Základní rozdělení litin vyplývá z rovnovážného diagramu železo-uhlík. Podle podmínek tuhnutí a chemického složení vzniká v litinách cementitické eutektikum – ledeburit nebo grafitické eutektikum.

Podle vyloučeného eutektika rozdělujeme:

- Cementické (bílý lom) – bílá litina, litina k temperování
- Grafitické (šedý lom) – litina s lupínkovým grafitem (LLG), litina s kuličkovým grafitem (LKG), litina s červíkovitým grafitem (LČG)

2.1.1 Charakteristika grafitických litin

Struktura grafitických litin je tvořena grafitem a základní kovovou hmotou (matricí). Na vlastnosti litin má rozhodující vliv tvar, velikost, obsah a způsob rozložení grafitu a druhu matrice.

Základní tvary grafitu v grafitických litinách jsou lupínkový, kuličkový a červíkovitý. Grafitové částice oslabují strukturu a porušují základní kovovou hmotu. Při namáhání odlitku vznikají místní koncentrace napětí v oblasti grafitu. Největší vrubový účinek mají hrubé lupínky grafitu, příznivější tvar z hlediska porušování celistvosti matrice jsou kuličky nebo vločky.

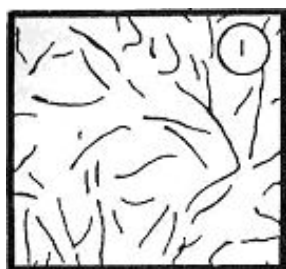
Výslednou strukturu matrice litin po odliti tvoří perlit, ferit nebo jejich směs. Perlit s přibývajícím množstvím zvyšuje tvrdost, odolnost proti opotřebení, pevnost, ale klesá houževnatost a plasticita. Ferit má za důsledek zvýšení tažnosti a houževnatosti.

2.2 Hodnocení LKG [3]

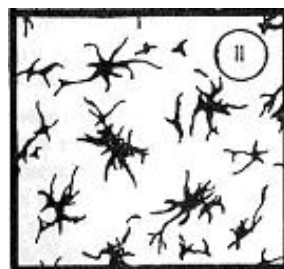
Vyhodnocení struktury LKG se provádí podle nové normy ČSN EN ISO 945. Starší norma je ČSN 42 0461, která popisuje velikost grafitu, tvar grafitu, rozložení grafitu a četnost grafitu.

2.2.1 Tvar grafitu

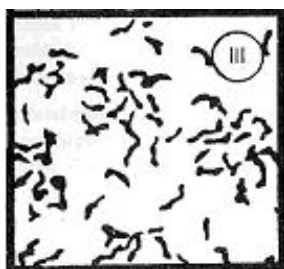
Vyhodnocení tvaru grafitu se provádí na metalografickém výbrusu při zvětšení 100x. Tato norma zařazuje grafit do 6-ti tříd, viz obr 2.1.



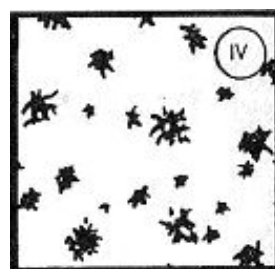
I. Lupínkový grafit



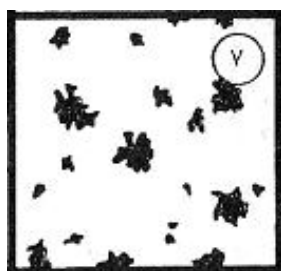
II. Pavoučkový grafit



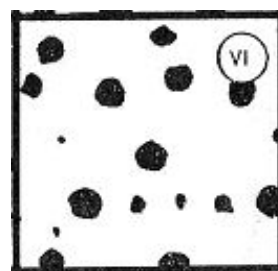
III. Červíkovitý grafit



IV. Vločkový grafit



V. Nedokonale kuličkový grafit



VI. Pravidelně kuličkový grafit

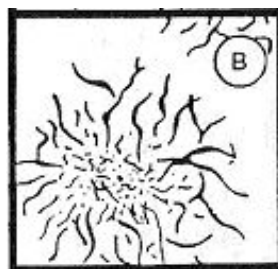
Obr. 2.1 Etalony pro vyhodnocení tvaru grafitu

2.2.2 Rozložení grafitu

Vyhodnocení se provádí na metalografickém výbrusu při zvětšení 100x a hodnotí se podle etalonové řady do 5-ti tříd, viz obr.2.2.



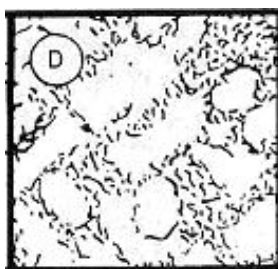
A – Rovnoměrné



B – Růžicovité



C – Smíšené



D – Mezidendritické neusměrněné



E – Mezidendritické usměrněné

Obr. 2.2 Etalony pro rozložení grafitu

2.2.3 Velikost grafitu

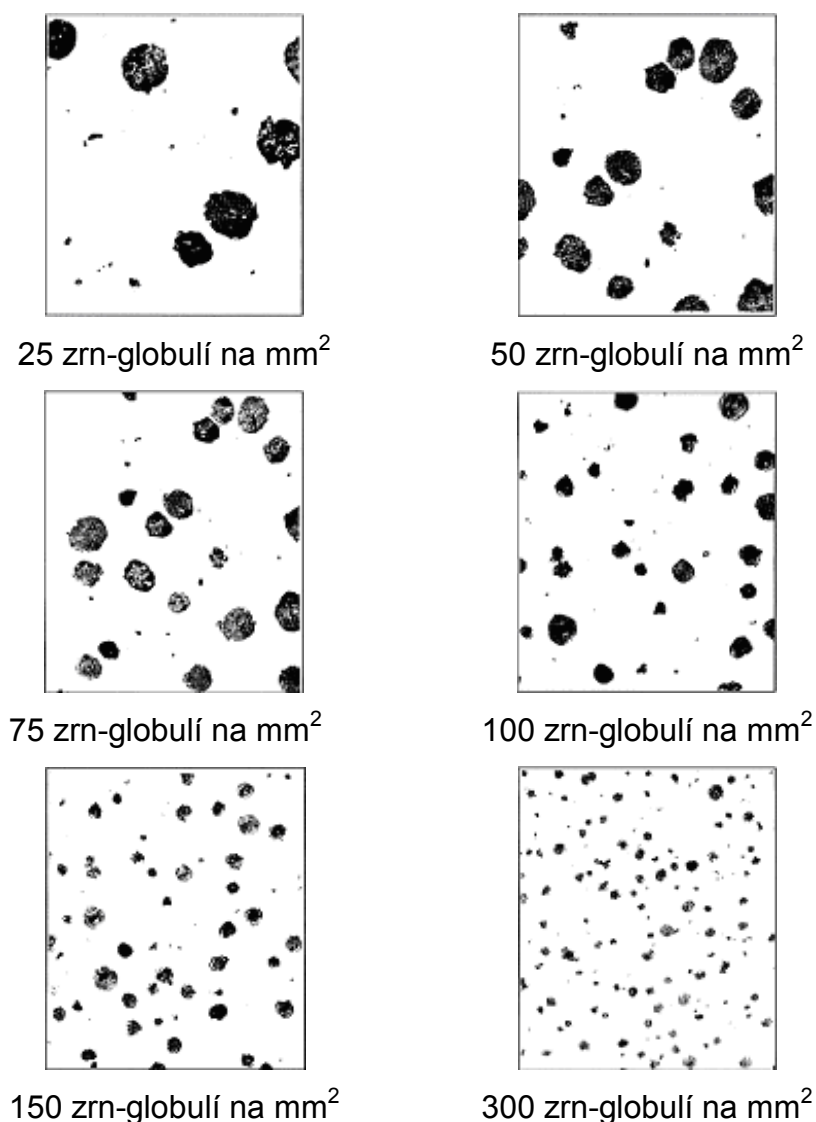
Velikost grafitu se zjišťuje na metalografickém výbrusu kde se hodnotí maximální rozměr grafitu v milimetrech, viz tab. 2.1.

Tab. 2.1 Velikosti grafitu

Třída	Maximální rozměr [mm] x 100
1	128
2	64
3	32
4	16
5	8
6	4
7	2
8	1

2.2.4 Četnost grafitových zrn

Vyhodnocení se provádí na metalografickém výbrusu při zvětšení 100x. Vyjadřuje se počtem zrn-globulí na čtvereční milimetr, viz obr. 2.3.



Obr. 2.3 Etalony pro četnost grafitových zrn

2.3 Základní druhy litin [2]

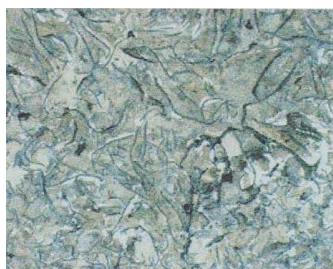
2.3.1 Litina s lupínkovým grafitem (LLG)

LLG je nejpracnější konstrukčním materiálem na odlitky s dobrými technologickými vlastnostmi, lze ji dobře obrábět a její pevnostní vlastnosti dokonale vyhovují požadavkům konstruktérů. Grafit je vyloučen ve formě prostorových útvarů, které na metalografickém výbrusu připomínají tvar lupínků. LLG je především podeutektická slitina, kde chemické složení je: 2,5 až

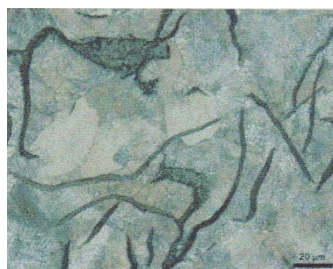
4,0 % C; 1,7 až 2,5 % Si; 0,5 až 1,0 % Mn; 0,2 až 0,6 % P; max. 0,15 % S. Křemík tvoří nejdůležitější přísadu a jeho obsah v litině závisí na rychlosti chladnutí – tloušťce stěny odlitku. LLG se vyznačuje nízkou plasticitou a houževnatostí. Mechanické vlastnosti LLG jsou závislé na velikosti, tvaru a rozložení grafitu, ale také na základní kovové matici. Kovová matrice může být perlitická, feritická, nebo feriticko-perlitická.



Obr. 2.4 Struktura litiny s lupínkovým grafitem s feritickou maticí



Obr. 2.5 Struktura s lupínkovým grafitem s feriticko-perlitickou maticí



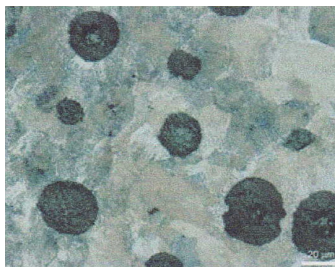
Obr. 2.6 Struktura litiny s lupínkovým grafitem s perlitickou maticí

Pokud podíl perlitu v matici klesá, klesá zároveň pevnost i tvrdost. Stoupá-li podíl perlitu v matici, klesá obrobiteľnosť. U LLG je pevnost v tahu 100 až 350 MPa, pevnost v tlaku je trojnásobkem pevnosti v tahu, tvrdost se pohybuje v rozmezí 180 až 370 HB. Modul pružnosti E se pohybuje rozmezí $6 \cdot 10^4$ až $16 \cdot 10^4$ MPa, ale není konstantní. Pokud roste napětí při zatěžování, klesá modul pružnosti. Velmi dobrou vlastností LLG je vysoká schopnost útlumu

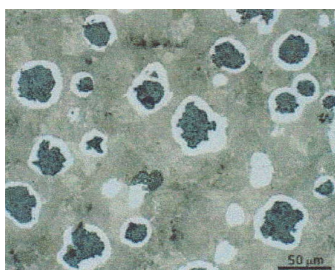
kmitů součástí. Pro zlepšení mechanických vlastností se LLG očkuje. Po očkování je grafit jemnější a rovnoměrně rozložen. Očkování se nejčastěji provádí pomocí ferosilicia (FeSi).

2.3.2 Litina s kuličkovým grafitem (LKG)

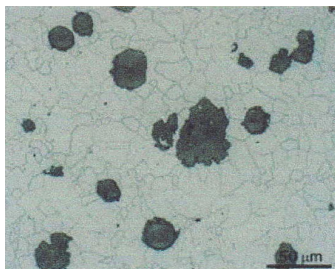
LKG v současné době je jedním z nejvíce prosazujícím se materiálem vyráběným sériově i velkosériově. Grafit u této litiny vyloučen ve formě kompaktních kulových zrn, LKG je většinou eutektická, ale může být i nadeutektická. Tvaru grafitu se dosáhne modifikací taveniny čistým hořčíkem, nebo pomocí předslitin (Ni-Mg; Cu-Mg; Fe-Si-Mg). Očkování se provádí v pánvi nebo přímo ve formě a nebo v autoklávu. Chemické složení LKG je: 3,2 až 4,0 % C; 1,8 až 3,0 % Si; 0,2 až 0,8 % Mn; max. 0,1 % P; max. 0,05 % S; 0,04 až 0,08 % Mg. Díky tomuto složení a výborným vlastnostem je vhodná pro dynamické namáhání. Použití LKG je nejvíce v automobilovém průmyslu, kde se vyrábí ložiskové skříně, klikové hřídele spalovacích motorů, přední ramena atd. LKG po mechanické stránce není výrazně závislá na uhlíkovém ekvivalentu ale na základní kovové matici. Kovová matrice u LKG může být feritická, perlitická, nebo feriticko – perlitická.



Obr. 2.7 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s perlitickou maticí



Obr. 2.8 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s feriticko-perlitickou maticí



Obr. 2.9 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s feritickou maticí

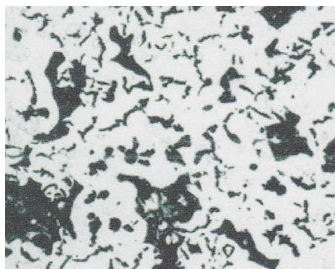
Dobré plastické a dynamické vlastnosti má struktura feritická. Vyšší pevnost je u struktury perlitické. Perlitické struktury lze dosáhnout přidáním většího množství manganu nebo dalších legur v sázce. U LKG je pevnost v tahu 350 až 900 MPa, mez kluzu 220 až 600 MPa a tvrdost 160 až 360 HB. Modul pružnosti je vyšší než u LLG a jeho hodnoty jsou $16 \cdot 10^4$ až $18 \cdot 10^4$ MPa. LKG ve srovnání s ocelí má vyšší schopnost útlumu, menší vrubovou houževnatost, lepší slévatelnost a třecí vlastnosti.

2.3.3 Litina s červíkovitým grafitem (LČG)

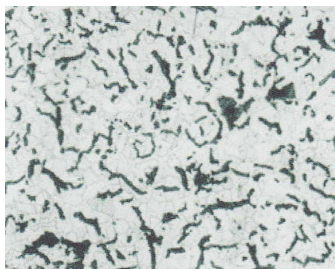
LČG patří svými vlastnostmi a tvarem grafitu mezi LLG a LKG. LČG má ve struktuře zvláštní tvar grafitu a to je červíkovitý. Tyto červíky se podobají tvarem grafitu LLG, ale jsou tlustší a jejich konce jsou zaoblené. Stupeň zaoblení souvisí s rychlostí ochlazování. Chemické složení LČG je: 3,2 až 3,6 % C; 2,7 až 3,2 % Si; 0,1 až 0,6 % Mn; max. 0,1 % P. LČG má oproti LLG lepší pevnostní vlastnosti a trochu vyšší tepelnou vodivost. Porovnáním s LKG má menší pevnost a nižší tepelnou vodivost. Díky této vlastnosti je LČG vhodná pro tepelně namáhané odlitky, odolává zejména změnám teplot. Použití této litiny jsou: bloky a hlavy válců, dále část brzd vozidel. Kovová matrice u LČG může být feritická, perlitická, nebo feriticko-perlitická.



Obr. 2.10 Struktura litiny s červíkovitým grafitem s perlitickou maticí



Obr. 2.11 Struktura litiny s červíkovitým grafitem s feriticko-perlitickou matricí



Obr. 2.12 Struktura litiny s červíkovitým grafitem s feritickou matricí

Litina má menší sklon k tvorbě staženin než u LKG a proto je postup odlévání podobný jak u LLG. Materiál po výrobu LČG je levná vsázka a ocelový odpad. U LČG je pevnost v tahu 320 až 380 MPa, mez kluzu 260 až 300 MPa, tažnost 3 až 8 % a tvrdost 135 až 170 HB. Modifikace se provádí hořčíkem nebo kovy vzácných zemin (CER).

2.4 Druhy tavicích zařízení pro LKG [4]

2.4.1 Elektrické indukční pece

Elektrické indukční pece jsou velmi obvyklým zařízením pro tavení výchozí litiny pro výrobu LKG. Tato pec je velice spolehlivá, jednoduchá, lze velmi přesně a pružně řídit chemické složení vsázky a regulovat provozní teplotu (tavení, přehřev, udržování). Lze použít i méně hodnotnou vsázku, dochází k menšímu propalu prvků, což zlepšuje ekologičnost procesu tavení. Pomocí vířivých proudů je tavenina dokonale homogenní.

Elektrické indukční pece k tavení a udržování dělíme:

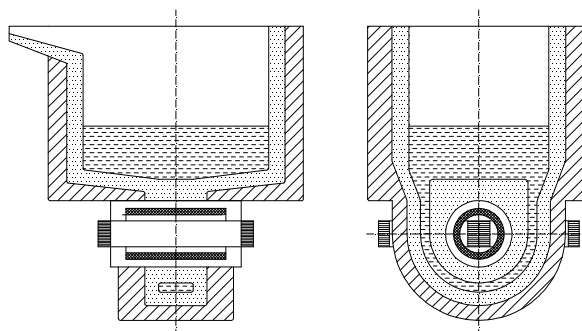
- Kelímkové (bez kovového jádra)
- Kanálkové (s kovovým jádrem)

Elektrické indukční pece dělíme podle frekvence:

- Nízkofrekvenční – síťové (50 – 60 Hz)
- Středofrekvenční (150 – 500 Hz)

2.4.1.1 Indukční kanálkové pece

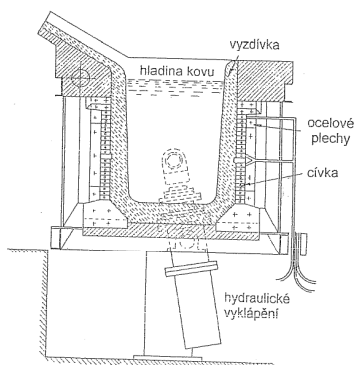
Pec se nepoužívá k tavení, ale nýbrž k udržování teploty kovu. U této pece je podmínka, že v peci musí zůstat 1/3 objemu tekutého kovu. Skládá se z kanálku ve tvaru U, indukční cívky, vyzdívky, tepelné izolace a magnetického jádra. V kanálkových pecích je dále možno upravovat chemické složení, provádět modifikaci a homogenizaci taveniny. Výhodou této pece je možnost tavení mimo energetickou špičku a velmi vysoká účinnost. Nevýhodou je zanášení kanálku hran nečistotami a ohřev pouze malého podílu z celkového objemu vsázky, viz obr. 2.13.



Obr. 2.13 Schema indukční kanálkové pece

2.4.1.2 Elektrické kelímkové pece

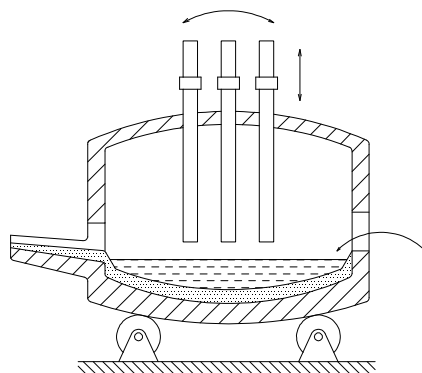
Pec se používá k natavování a udržování litiny. Skládá se z cívky, chladících trubek, kelímku, vyzdívky a vyklápění (hydraulické, mechanické). Charakteristika kelímkových indukčních pecí je přirozené víření taveniny. Díky tomuto víření se tavenina dokonale promíchá a má pak homogenní chemické složení. Výhodou těchto pecí je snadná regulace a vysoký výkon, viz obr. 2.14.



Obr. 2.14 Schema elektrické kelímkové pece

2.4.2 Elektrické obloukové pece

Tato pec se pro tavení litiny používá, jen když slévárna změnila výrobní proces ocel – litina. Výroba LKG na elektrických obloukových pecích je vcelku úspěšná, záleží na složení vsázky, požadavku konečného chemického složení a struktuře LKG. Při vhodném složení surovin lze dosáhnout konečného obsahu síry 0,015%. Po roztavení vsázky vyplouvají lehké oxidy a nečistoty na hladinu a brání tak propalu prvků. Velkou nevýhodou obloukových pecí je vysoká spotřeba energie, poměrně vysoká spotřeba grafitových elektrod a velký hluk při provozu, viz obr. 2.15.

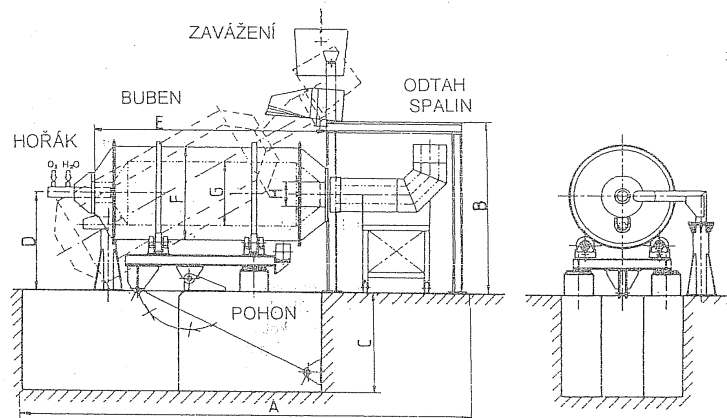


Obr. 2.15 Schema elektrické obloukové pece

2.4.3 Rotační bubnové pece

Se stále se zvyšujícími nároky na ekologičnost a rostoucími výdaji na investici a energii se hledají nové přístupy k tavení litiny. V dnešní době hospodárná a technická alternativa je rotační bubnová pec s injektáží čistého kyslíku. Rotační bubnová pec se vyznačuje krátkou dobou tavení, malou spotřebou energie, nízkými investičními náklady a nízkým množstvím zplodin.

Díky těmto kladům má rotační bubnová pec nízké provozní náklady. Tato pec je vhodná pro malé a střední slévárny s pružným provozem, viz obr 2.16.



Obr. 2.16 Schema rotační bubnové pece

2.5 Metalurgické zásady výroby litiny s kuličkovým grafitem

2.5.1 Očkování [4], [5], [6]

Očkování je posledním krokem při výrobě litiny. Metalurgický význam procesu očkování je přidávání zárodků do taveniny za účelem zvýšení počtu cizích krystalizačních zárodků a zjemnění vyloučeného grafitu. Očkováním se zlepšují mechanické vlastnosti litiny, zvyšuje se grafitizační schopnost taveniny a snižuje se riziko vzniku zákalky u LKG a u tenkostěnných odlitků. Účinky očkování jsou maximální ihned po přidání očkovací přísady. Očkovací přísady jsou například: SUPERSEED, FOUNDRISIL, čisté FeSi. Rychlost odeznívání očkovacího účinku závisí na složení přísad a očkované litině.

Hlavní znaky odeznívání očkování:

- Větší podchlazení, k němuž dochází v průběhu eutektického tuhnutí a větší sklon k zákalce v LKG
- Snížení počtu kuliček v LKG
- Zhoršení tvaru kuliček může ovlivnit mechanické vlastnosti

Požadavky na očkovadlo:

- Dobrá rozpustnost v tavenině

- Dodržování chemického složení při výrobě
- Skladování v uzavřené nádobě, v suchém prostředí – účinnost očkovačla klesá s časem, kdy není chráněno

Očkování se provádí třemi způsoby:

- Očkování v pánvi
- V proudu taveniny během lití
- Ve slévárenské formě

Množství použitého očkovačla se může značně lišit, od 0,2 až do 1% hmotnosti vsázky, použité množství závisí na metodě zpracování, účinnosti očkovačla a tloušťce stěny odlitku.

Očkovačla pro LKG obsahují některé prvky, které přidáváme po zvýšení očkovačl účinek. Těmito prvky jsou:

Vápník (Ca) Slévárenská ferosilicia udržují rovnováhu mezi vápníkem, a hliníkem. Ferosilicium je nutné pečlivě vybírat, protože některá prodávaná ferosilicia mají vysoký obsah hliníku (vyšší než 3%), s tím souvisí nebezpečí vzniku bodlin u odlitků. Dobré slévárenské FeSi dává vyhovující celkový počet kuliček a pro střední tloušťky stěn i vyhovující mechanické vlastnosti LKG.

Barium (BA) Barium se používá v případech, kdy potřebujeme dlouhý očkovačl účinek, nebo pokud tuhnutí odlitku je pomalé (např. při velké tloušťce stěny). Celkový obsah baria v očkovačlech nad 3% je nevhodný, protože zapříčiňuje nadměrný vývin strusky. Výhoda tohoto prvku je že váže dusík a tím omezuje vznik bodlin.

Stroncium (Sr) Očkovačla obsahující stroncium zvyšují rychlost rozpouštění i při nižších teplotách kovu cca. 1300 °C. Prodlužuje dobu očkovačl účinku i při nižším obsahu, dobře redukuje zákalku

Zirkonium (Zr) Očkovačla obsahující zirkonium mají vysokou desoxidačl schopnost a střední odeznívácl očkovačl účinek. Používá se v tavenině obsahující vyšší obsah N₂.

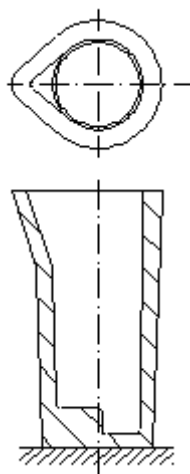
2.5.2 Modifikace [3], [4], [5]

Modifikace je záměrný proces ovlivňování tvaru grafitu. Modifikační činidlo (modifikátor) je povrchově aktivní látka, která ovlivňuje směr a rychlost růstu grafitu. V praxi se používá hořčík nebo cín. Při použití hořčíku je nutné, aby tavenina obsahovala cca 3,8 až 4,0 % uhlíku a síry maximálně cca 0,02 %.

Grafit obecně krystalizuje v šesterečné krystalické soustavě, elementární buňka je charakteristická velkým poměrem délek os. Při krystalizaci lupínkového grafitu převládá růst v základní rovině buňky a ve směru výšky šestihranu je růst pomalejší. Má-li se grafit vylučovat ve tvaru kulovitých zrn, měla by být rychlost růstu grafitu ve všech osách stejná.

Metody modifikace litiny s kuličkovým grafitem lze rozdělit na polévací a ponořovací.

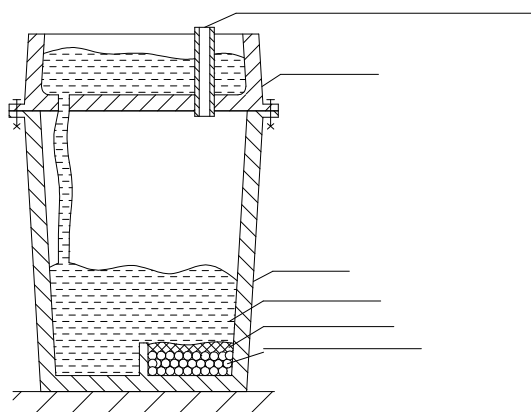
a) metoda Sandwich – modifikace se provádí v otevřené pánvi, kde se tavenina vlévá do speciální lící pánve, která je předehřátá na teplotu cca 600 °C. Výška pánve se bere 2 až 3 násobek horního průměru. Ve spodní části se nachází komůrka s výstupkem, nebo může být prostor dna řešen příčkou. Do této komůrky se uloží odvážená dávka modifikátoru Mg, vrstva očkovadla FeSi a tento obsah se zasype ocelovými odstřížky. Vrstva ocelových odstřížků brání a hlavně oddaluje začátek modifikační reakce, viz obr. 2.17.



Obr. 2.17 Schema otevřené pánve metody Sandwich

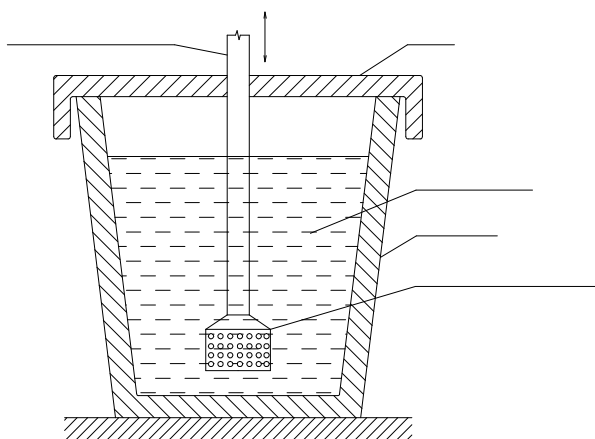
b) metoda TUNDISH (Tundish cover) – tavenina se vlévá do speciální lící pánve, která je oproti metodě SANDWICH opatřena víkem s otvorem. V pánvi se nachází komůrka nebo je dno přepaženo příčkou, do které se uloží

předslitina. Víko s pávní musí být pevně spojeno, aby tlakem plynů nedošlo k odklopení. U této metody se zamezí okolnímu vzduchu, resp. kyslíku, aby reagoval s taveninou. Díky omezenému množství kyslíku pod víkem se sníží ztráty Mg. Další výhodou víka je zabránění rozstříku kovu, snížení teplotní ztráty a snížení množství plynu, viz obr. 2.18.



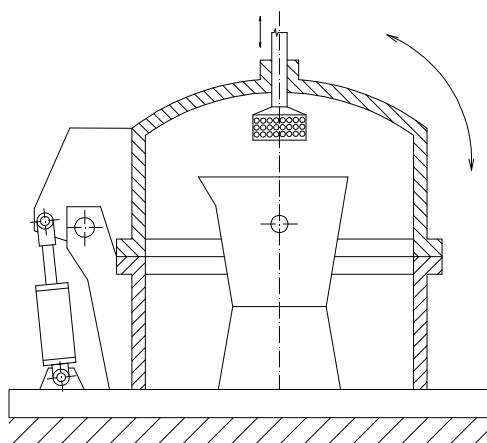
Obr. 2.18 Schema licí pánve metody TUNDISH

c) modifikace ponorným zvonem – tato metoda patří k nejstarším. Jednotlivé části jsou znázorněny na obr. 2.19. Principem této metody je ponoření ponorného zvonu s předslutinou zabaleného do tenkého plechu do taveniny. Následně proběhne reakce. Víko brání rozstříku Mg a přístupu okolního kyslíku.



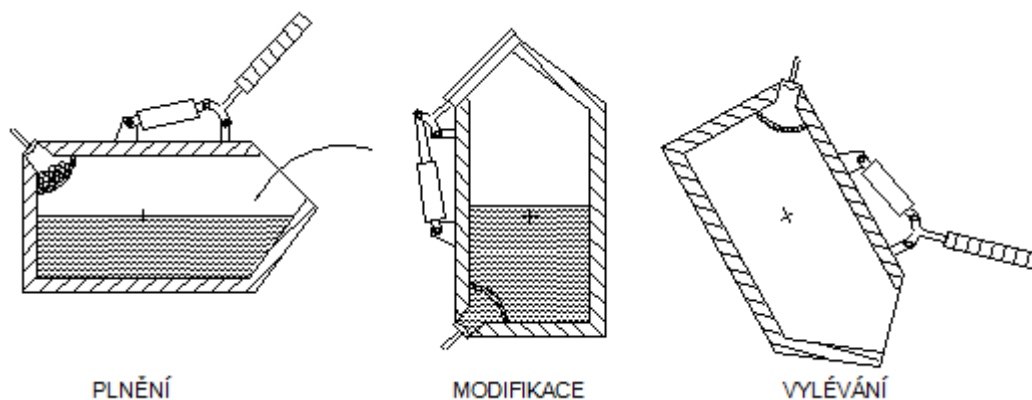
Obr. 2.19 Schema modifikace ponorným zvonem

d) modifikace v autoklávu – tato metoda je v celku na stejném principu jako metoda ponorným zvonem. Rozdíl je ve zvýšeném tlaku v prostoru okolo pánve. Jednotlivé části autoklávu jsou na obr. 2.20. Pánev s taveninou je zavezena do autoklávu, který se víkem utěsní, pak se kompresorem zvýší tlak na hodnotu 0,4 až 1,0 MPa. Po zvýšení tlaku se ponorný zvon ponoří do taveniny. Díky zvýšenému tlaku probíhá vypařování hořčíku pomaleji než při tlaku atmosférickém. Touto metodou lze použít předslitiny s vyšším obsahem hořčíku (15 až 25 Mg) nebo čistý hořčík.



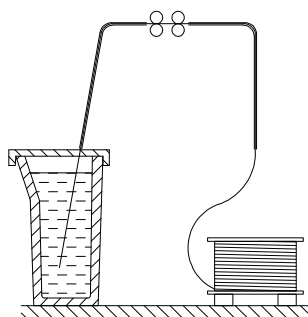
Obr. 2.20 Schema modifikace v autoklávu

e) modifikace v konvertoru – metoda pochází ze Švýcarska. Zařízením je speciální konvertor, který lze naklápět viz obr. 2.21 a je opatřen víkem. Součástí konverturu je speciální komůrka, do které se vkládá modifikační činidlo. Komůrka je z grafitové desky s otvory. Během plnění je komůrka mimo dosah taveniny. Sklopením konvertoru se dostává do styku modifikátor s taveninou, v této poloze je konvertor přiklopen víkem, aby nedošlo k rozstříku taveniny. Díky otvorům v grafitové desce probíhá reakce klidně. Modifikace trvá cca 80 s, potom se pánev sklopí a tavenina se vyleje do odlévací pánve.



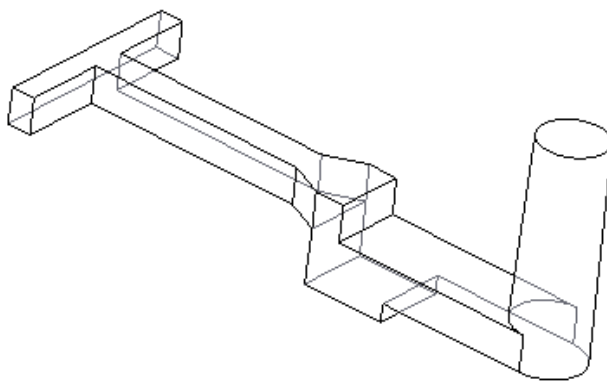
Obr. 2.21 Schema procesu modifikování v konvertoru

f) modifikace plněným profilem – tato metoda je založena na ponořování modifikačního drátu do taveniny viz obr. 2.22. Je to vlastně dutý drát o průměru 5 až 13 mm, ve kterém je předslitina. Chemické složení náplně se liší podle výrobce, ale nejběžnějším složením je 13 až 25% Mg, 20 až 40 % Si, 10 až 20 % Ca, 1 % KVZ, zbytek Fe. Na podávacím zařízení se nastavuje množství modifikovadla (délkou drátu) a rychlost podávání. Výhodou této metody je vysoká čistota kovu, plynulé vkládání profilu, velká operativnost, možnost domodifikace. Nevýhodou je vysoká cena plněného profilu.



Obr. 2.22 Schema modifikace plněným profilem

g) metoda in mould – tato metoda je nejposlednějším způsobem jak ovlivnit strukturu při odlévání. Do slévárenské formy se zaformuje komůrka, která je propojena s vtokovou soustavou a poté se vloží odměřená dávka předslitiny FeSiMg s obsahem 3 až 5 % Mg, viz obr. 2.23.



Obr. 2.23 Schema modifikace metoda in mould

2.6 Suroviny pro výroby litiny s kuličkovým grafitem [3], [4]

Surová železa – Pro výrobu LKG jsou speciální surová železa obsahující velmi malé množství fosforu a manganu. Dále mají nízký obsah nečistot, které se rozpouští v tavenině a zhoršují krystalizaci. Jedná se např. o Cr, Cu, Ni, W. Často se pro výrobu LKG používají surová železa typu Sorel anebo Nodular [6].

Ocelový a litinový odpad – Za litinový odpad se pokládá především materiál z vyřazených strojů a zařízení. Materiál je nutno vytřídit, především legovaný odpad, dále zjistit jeho chemické složení, např. pomocí provozních spektrometrů. Použité množství litinového odpadu se řídí požadovanou kvalitou kovu, popř. se nepoužije vůbec. Ocelový odpad se používá hlavně k snížení obsahu C, Si, P i S. Použití ocelového odpadu je výhodné z hlediska ceny, ale je nezbytné, aby byl řádně roztříděn podle chemického složení a aby ocelové plechy byly odmaštěny a slisovány do balíků. Jeho poměr ve vsázce činí až 50%.

Vratný materiál – používá se z vlastní produkce slévárny, jako jsou například vtoky, nálitky a zmetky. Povrch odlitků se musí očistit tryskáním. Výhoda vratného materiálu je známé chemické složení.

Třísky – jsou odpadem po třískovém obrábění odlitků, mohou tvořit až 5% vsázky. Lze je použít za podmínky, že jsou odmaštěné a suché.

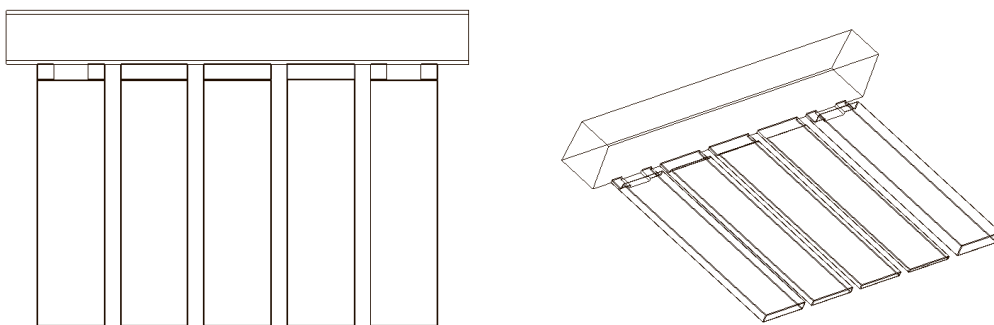
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST PRÁCE

Úkolem experimentální části práce bylo navržení a odzkoušení vhodné metodiky výroby odlitků z litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem křemíku.

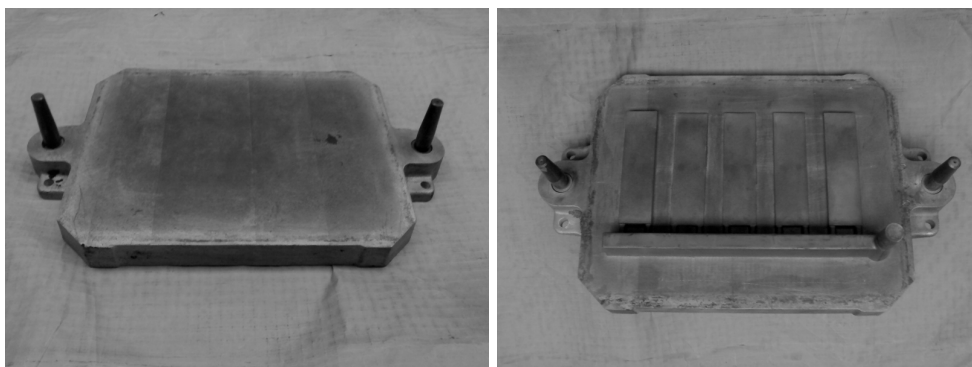
K tomuto účelu byly navrženy zkušební odlitky tvaru desky s různou tloušťkou, odlévané do formy z bentonitové formovací směsi. Také byla zvolena metodika prováděných experimentů s ohledem na vhodnou volbu jak technologických podmínek přípravy taveniny litiny s kuličkovým grafitem (správné množství vsázkových surovin, teplota taveniny), tak použitého modifikačního a očkovacího činidla. Výsledkem experimentů bylo stanovení souvislosti mezi metalurgickou přípravou taveniny, výslednou mikrostrukturou, tvrdostí zkušebních odlitků a mechanickými vlastnostmi.

3.1 Charakteristika pískové slévárenské formy

Pro odlévání destičkových odlitků viz obr. 3.1 byla navržena písková slévárenská forma. Dutina formy byla vytvořena pomocí hliníkového modelového zařízení, jehož součástí je i vtoková soustava kromě licí jamky, která byla udělána dodatečně. Tvar modelového zařízení je patrný z obrázku 3.2.



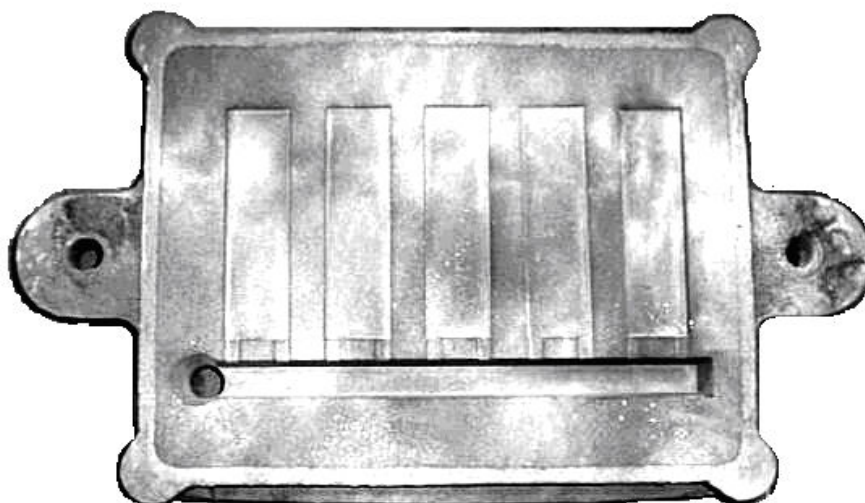
Obr. 3.1 Schéma trojrozměrného modelu odlitku tvořeného z destiček



Obr. 3.2 Modelové zařízení pro výrobu formy

Na modelové zařízení byl usazen formovací rám o rozměrech 400×300×100 mm, viz obr. 3.3. Formovací směs v rámech byla ručně upěchována. Před složením obou rámců byl líc formy postříkán vodním roztokem melasy pro zpevnění líce dutiny formy a posypán kamenouhelnou moučkou. Pro zajištění správného sestavení rámců byly použity vodící čepy. Sestavená forma byla před odléváním zatížena pomocí závaží.

Formovací směs byla navržena dle možností školní slévárny. Byla použita bentonitová formovací směs. Jako ostřívo byl použit křemičitý písek Střeleč T2S a jako pojivo bentonit Speciál 550 (7 hmot. %). Pro snížení penetrace taveniny do formovací směsi byla použita kamenouhelná moučka (4 hmot %). Obsah vody ve formovací směsi byl 3%.



Obr. 3.3 Pohled na dutinu slévarenské formy

Pro prvotní stanovení struktury litiny byly odlity z LKG i zkušební odlitky \varnothing 30 mm a délce 115 mm. Slévárenská forma je válcového tvaru s vnějším \varnothing 70 x 120 mm, zhotovena z CT směsi, profouknuta CO₂. Vzorky byly odlévány ve svislé poloze. Na obr. 3.4 je slévárenská forma pro odlévání zkušebních odlitků.



Obr. 3.4 Slévárenská forma z CT směsi pro odlití zkušebních odlitků

3.2 Příprava taveniny pro výrobu odlitků z LKG s vyšším obsahem Si

Pro přípravu taveniny litiny bylo použito tavicí zařízení, které se nachází na slévárenském pracovišti oddělení strojírenské metalurgie, Katedry strojírenské technologie TU v Liberci. Tavicím zařízením byla elektrická středofrekvenční kelímková indukční pec s označením IO 40, maximální hmotnost taveniny v kelímku tavicí pece je 40 kg. Výrobce je firma Indukce, s.r.o. Použitá vyzdívka pece byla kyselá, s obchodním názvem Calderys SILICA MIX 7A. Vyzdívka odlévací pánve měla kyselou vyzdívku ACYKUP. Pánev byla navržena a vyrobena s přepážkou, která je umístěna ve spodní části pánve. Výška pánve je dvojnásobkem jejího průměru.

Vsázkový materiál byl připraven pro všechny tavby zvlášť. Taveb bylo celkem 7 s hmotností mezi 16 a 29 kg. Jako suroviny pro přípravu vsázky bylo použito surové železo s obchodním názvem SOREL, jehož chemické složení je uvedeno v tab. 3.1, dále vratný odpad z předchozích námi provedených taveb a vratný odpad z Komerční slévárna šedé a tvárné litiny Turnov.

Tab. 3.1 Chemické složení surového železa SOREL

Fe [%]	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Ni [%]
95,48	4,23	0,15	0,013	0,026	0,01	0,007

Vsázkový materiál byl připraven s odstupňovaným množstvím křemíku, viz dále. Grafitizační očkovač byl použit Superseed a FeSi75. Chemické složení očkovačů je v tabulce 3.2.

Tab. 3.2 Chemické složení očkovačů

	Fe [%]	Si [%]	Al [%]	Ca [%]	Sr [%]	Mg [%]	KVZ
FeSi 75	25	75	-	-	-	-	-
Superseed	Zbytek	75	max. 0,5	0,1	0,8	-	-

Jako modifikační činidlo byla použita předslitina MgFeSi, chemické složení obsahuje tabulka 3.3.

Tab. 3.3 Chemické složení modifikátoru MgFeSi

Si [%]	Mg [%]	Ca [%]	Al [%]	Ce [%]	La [%]
43,6	5,6	<0,05	<0,02	<0,01	<0,01

3.2.1 Postup tavy pro přípravu taveniny LKG

Bylo provedeno 7 nezávislých taveb. Složení každé vsázky bylo z důvodu změny chemického složení rozdílné. Nejdůležitějším kritériem bylo dosažení požadovaného množství křemíku v odlitku. Složení všech vsázek jednotlivých taveb je podrobně rozepsáno v tabulce 3.4. Použité množství předslutin (grafitizační očkovač FeSi75 a Superseed a modifikátory KVZ a MgFeSi) bylo stanoveno na základě výpočtu vzhledem ke konečnému obsahu křemíku. Jako vsázka bylo použito čisté surové železo s obchodním názvem „Sorel“, dále vratný odpad z předchozích námi provedených taveb a vratný odpad z Komerční slévárna šedé a tvárné litiny Turnov. Vsázka byla zahřáta na teplotu 1500 °C. Teplota taveniny byla sledována pomocí optického pyrometru.

Licí pánev byla přehřívána v peci na teplotu cca. 800 °C V přehříváté pánvi bylo umístěno přesně navážené množství modifikátoru (předslitiny MgFeSi dle tab. 3.5), očkovadla FeSi75 a zasypána litinovými pilinami. Před odlitím taveniny z pece byla odstraněna struska z povrchu taveniny. Poté byla tavenina přelita do licí pánve. Po rozpuštění modifikátoru, následovalo doočkování Superseedem, který byl nasypán na hladinu taveniny a zamíchán. Množství Superseedu je uvedeno v tab. 3.5. Po promíchání taveniny byla zjištěna teplota taveniny optickým pyrometrem. Žádaná licí teplota taveniny byla 1450 °C. Po této kontrole došlo k vlastnímu odlévání odlitků do předem připravených forem z bentonitové směsi a do formy z CT směsi (pro zkušební odlitek Ø 30 x 115 mm).

Tab. 3.4 Složení vsázky jednotlivých taveb

TAVBA	VSÁZKA[kg]					
	SOREL [kg]	Vrat Turnov [kg]	Vrat TUL		FeSi75 [kg]	FeMn65 [kg]
			Tavba	Vrat [kg]		
JS V	15,9	-	-	-	0,385	-
JS 17	26,69	-	-	-	1,107	-
JS 18	14,46	-	JS 17	14,26	0,192	0,1
JS 19	5,5	20,03	-	-	0,204	-
JS 20	6,19	12,35	JS 18	6,65	0,044	0,023
JS 21	7,25	11,12	JS 20	7,2	0,03	-
JS 22	3,6	5,75	JS 21	6,95	-	-

Tab. 3.5 Složení předslitin jednotlivých taveb

TAVBA	Předslitiny			
	Očkovadla [kg]		Modifikátor [kg]	
	FeSi75	Superseed	KVZ	MgFeSi
JS V	0,096	0,096	0	0,226
JS 17	0,16	0,107	0,0043	0,429
JS 18	0,172	0,115	0,0046	0,46
JS 19	0,153	0,102	0,0046	0,456
JS 20	0,151	0,1	0,0045	0,453
JS 21	0,153	0,102	0,0046	0,457
JS 22	0,098	0,065	0,0029	0,293

Současně s odléváním odlitků tvaru destiček byly odlévány i vzorky pro zjištění chemického složení, jsou to destičky o průměru 35 mm a tloušťce 5 mm, nazývané ve slévárenské praxi „medaile“. Tyto vzorky byly podrobeny

spektrální analýze (na spektrálním kvantometru firmy LECO - Komerční slévárna šedé a tvárné litiny Turnov), při které se sledovalo chemického složení litiny.

Jak je obecně známo, chemické složení litin se určuje spektrálním kvantometrem, tento přístroj analyzuje množství uhlíku jen z karbidu železa Fe_3C . K zajištění vzniku Fe_3C v litině byla použita kokila vyrobená z mědi, která zajišťuje co nejrychlejší odvod tepla tak, aby se uhlík v odlitku vyloučil při metastabilních podmínkách.

Dále byly s odlitky vyráběny i odlitky Y bloků, typ II a zkušební odlitky $\varnothing 30 \times 115$ mm, které sloužily k rychlému určení struktury vyráběné litiny na světelném mikroskopu. Toto ověření bylo pouze informativní zjištění struktury.

Poslední prováděná tavba litiny byla zaměřena na výrobu konkrétních tvarových odlitků, které jsou v průmyslové praxi odlévány z litiny s kuličkovým grafitem. Celkem bylo při řešení této diplomové práce realizováno 7 úspěšných taveb, jejich přehled je uveden v tabulce 3.6.

Tabulka 3.6 Přehled taveb se všemi typy odlitků

Číslo tavby	Označení tavby	Typ odlitků			
		Destičky	Y - blok	Zkušební odlitek $\varnothing 30 \times 115$ mm	Průmyslové odlitky
1.	JS V	Ano	Ano	Ano	Ne
2.	JS 17	Ano	Ano	Ano	Ne
3.	JS 18	Ano	Ano	Ano	Ne
4.	JS 19	Ano	Ano	Ano	Ne
5.	JS 20	Ano	Ano	Ano	Ne
6.	JS 21	Ano	Ano	Ano	Ne
7.	JS 22	Ne	Ne	Ne	Ano

Odlitky z výše uvedené tabulky byly podrobeny k další analýze viz tabulka 3.7.

Tabulka 3.7 Přehled prováděných analýz při vyhodnocení odlitků

Typ analýzy	Destičky	Y - blok	Zkušební odlitek $\varnothing 30 \times 115$ mm	Průmyslové odlitky
Chemické složení	Ano	Ano	Ano	Ano
Struktura odlitku	Ano	Ano	Ano	Ano
Tvrdoost odlitku	Ano	Ano	Ne	Ano
Mechanické vlastnosti	Ano	Ano	Ne	Ne

3.3 Sledování struktury a vlastností získaných odlitků

3.3.1 Sledování chemického složení litiny

Chemické složení, jak bylo výše uvedeno, se provádělo pomocí spektrální analýzy na spektrální kvantometru firmy LECO v Komerční slévárně šedé a tvárné litiny v Turnov. V následující tabulkách 3.8 a 3.9 jsou uvedena chemická složení litiny tak, jak byla získána ze vzorků jednotlivých taveb.

Tabulka 3.8 Přehled chemického složení jednotlivých taveb

TAVBA	CHEMICKÉ SLOŽENÍ [%]							
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Sn	Al
JS V	3,42	0,036	2,71	0,023	0,006	0,016	0,014	0,018
JS 17	3,42	0,002	3,85	0,024	0,006	0,022	0,035	0,017
JS 18	2,97	0,224	3,53	0,027	0,005	0,014	0,008	0,021
JS 19	3,38	0,181	3,89	0,025	0,009	0,011	0,000	0,029
JS 20	3,35	0,25	3,70	0,026	0,008	0,016	0,000	0,021
JS 21	3,33	0,144	3,48	0,026	0,008	0,014	0,01	0,022
JS 22	3,31	0,131	4,15	0,025	0,009	0,023	0,005	0,019

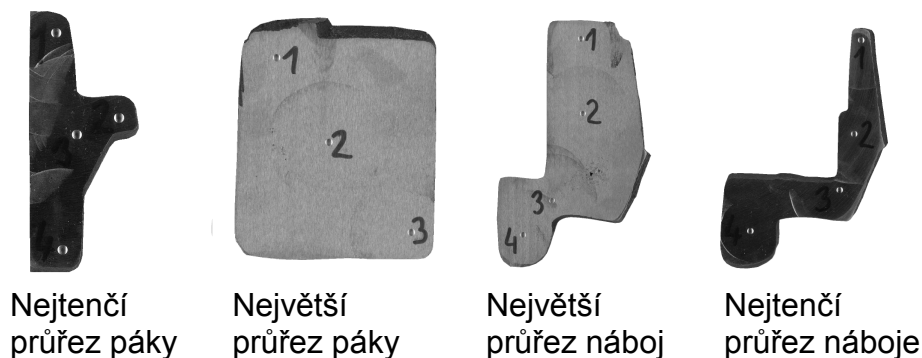
Tabulka 3.9 Přehled chemického složení jednotlivých taveb

TAVBA	CHEMICKÉ SLOŽENÍ [%]						
	Ni	Cu	Mo	V	Ti	Mg	As
JS V	0,006	0,01	0,001	0,005	0,007	0,022	0,024
JS 17	0,007	0,008	0,002	0,005	0,007	0,040	0,011
JS 18	0,013	0,011	0,002	0,005	0,017	0,035	0,017
JS 19	0,010	0,035	0,003	0,004	0,003	0,040	0,013
JS 20	0,010	0,022	0,002	0,004	0,004	0,041	0,000
JS 21	0,009	0,079	0,001	0,004	0,002	0,043	0,001
JS 22	0,015	0,058	0,003	0,007	0,009	0,035	0,005

3.3.2 Sledování struktury odlitků

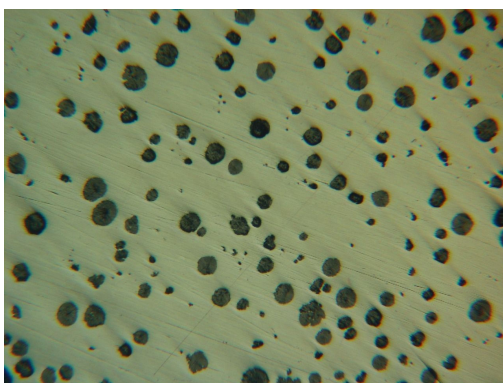
Pomocí optické metalografie, byla kontrolována dosažená struktura odlitků jednotlivých taveb, čímž byla ověřena správnost přípravy taveniny i celého metalurgického pochodu. Byla vyhodnocována základní kovová hmota a grafit v závislosti na množství křemíku a na tloušťce stěny odlitku.

Hodnoceno bylo celkem sedm taveb. Pro prvotní ověření struktury sloužily zkušební odlitky $\varnothing 30 \times 115$ mm. Vzorek byl odebrán ze spodní strany tyče ve vzdálenosti 40 mm. Výsledné struktury těchto vzorků nejsou zahrnuty do výsledků, neboť sloužily pouze k orientaci. Vzorky z Y – bloku byly odebrány z prostředku spodní části odlitku. Vzorky z destiček byly odebrány ze střední části po provedení tahových zkoušek. Dosažená struktura na průmyslových odlitcích byla vyhodnocována v místech, dle obr. 3.5.



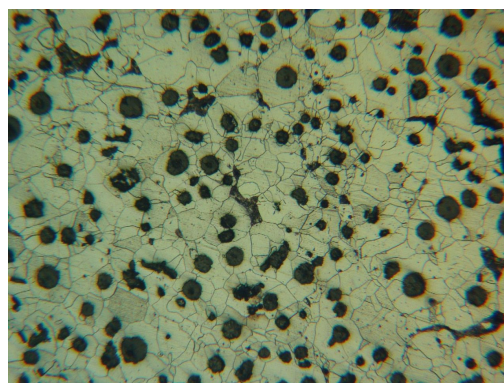
Obr. 3.5 Místa sledování struktury na průmyslových odlitcích (tavba JS 22)

Všechny vzorky byly odděleny od odlitku odříznutím rámovou pilou s chlazením, aby nedošlo k tepelnému ovlivnění struktury. Následovala příprava vzorků pro metalografické pozorování (zalití vzorků dentakrylem do novodurových kroužků a ztuhnutí dentakrylové pryskyřice). Bylo prováděno broušení a leštění standardním postupem. Zkoumání struktury připravených litinových vzorků bylo provedeno na světelném mikroskopu Neophot 21 (Carl Zeiss Jena). Při sledování tvaru, velikosti a rozložení grafitu byly metalografické vzorky sledovány v neleptaném stavu dle ČSN 420461 při zvětšení 100 násobném. Pro zvýraznění struktury základní kovové hmoty litiny byly vzorky chemicky naleptány 3 % roztokem Nitalu. V naleptaném stavu byla vyhodnocena základní kovová hmota litiny při zvětšení 100 násobném. Získané struktury byly sledovány digitální kamerou a vyhodnoceny pomocí programu Lucia. Získané struktury vzorků jsou zaznamenány na níže uvedených obrázcích 3.6 až 3.56 (v popisu každého obrázku je uvedeno hodnocení grafitu a základní kovové hmoty). Na obr. 3.6 až 3.11 jsou struktury litého stavu vyrobených Y – bloků. Na obr. 3.12 až 3.26 jsou získané struktury průmyslově používaných odlitků. Od obr. 3.27 až 3.56 jsou zobrazeny struktury destiček různých tloušťek.

Struktura v litém stavu na Y – bloku

Neleptáno

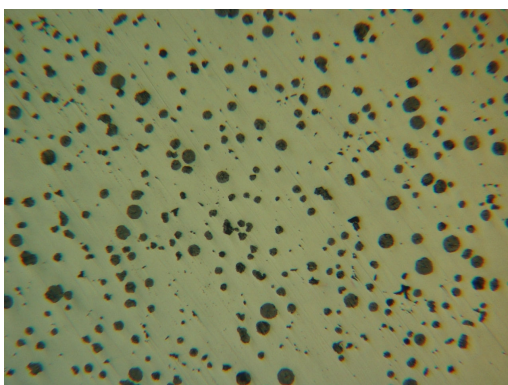
100x



Nital

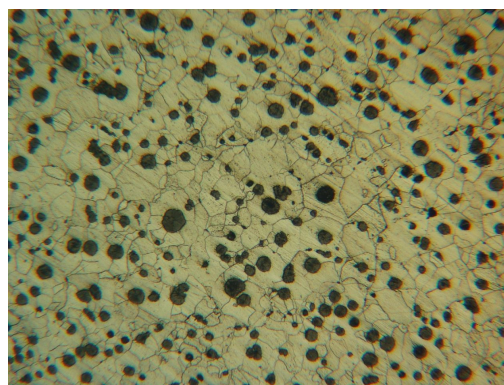
100x

Obr. 3.6 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba JS V), blok Y, (40 % VI 6 + 60 % VI 7, P6 Fe 94)



Neleptáno

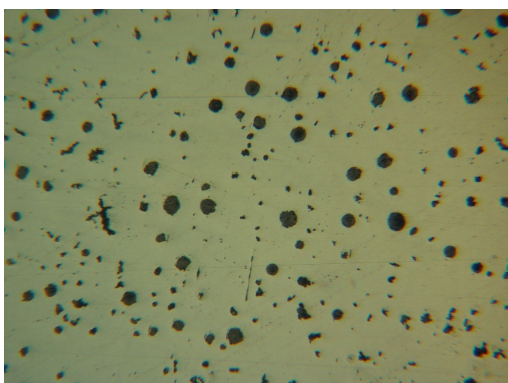
100x



Nital

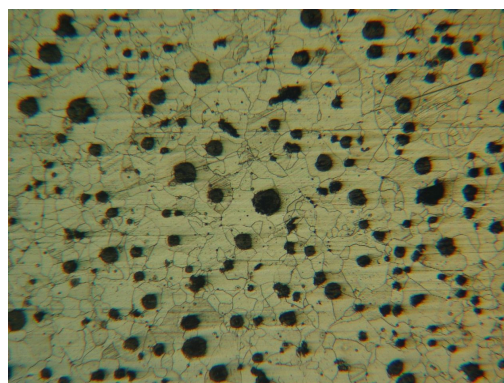
100x

Obr. 3.7 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba JS 17), blok Y, (10 % VI 6 + 90 % VI 7, Fe)



Neleptáno

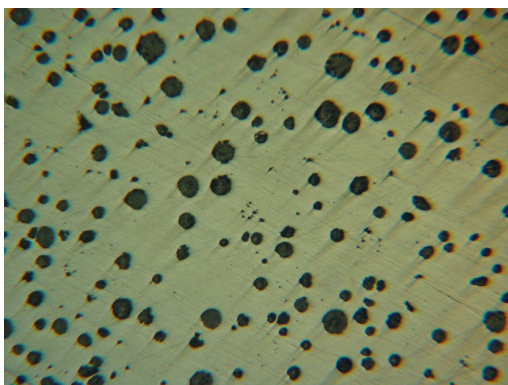
100x



Nital

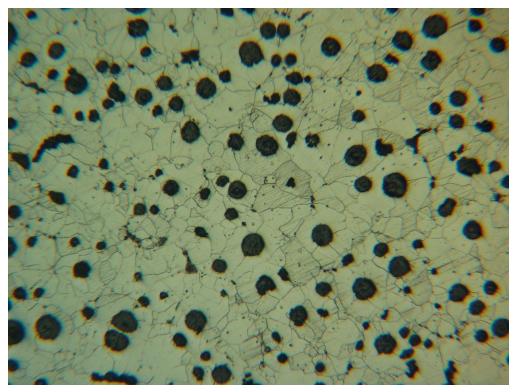
100x

Obr. 3.8 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba JS 18), blok Y, (10 % VI 6 + 90 % VI 7, Fe)



Neleptáno

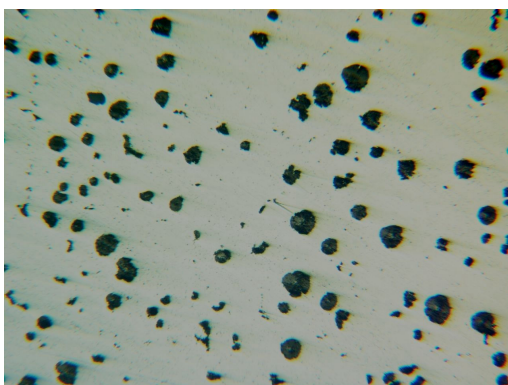
100x



Nital

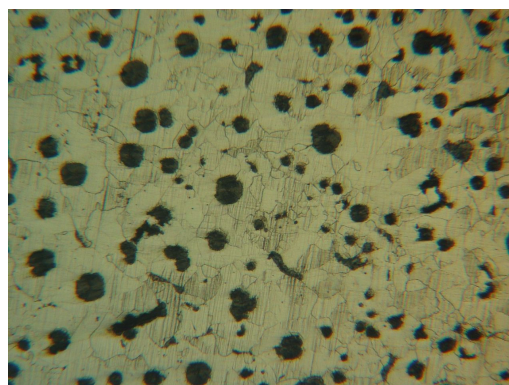
100x

Obr. 3.9 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba JS 19), blok Y, (30 % VI 6 + 70 % VI 7, Fe)



Neleptáno

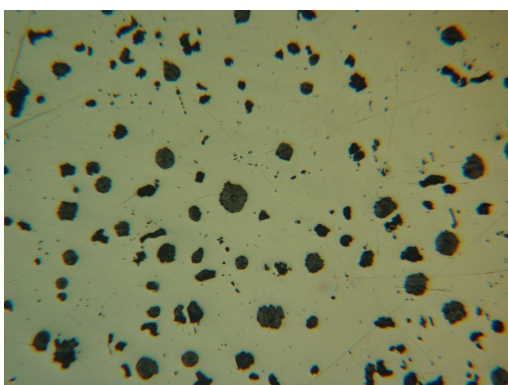
100x



Nital

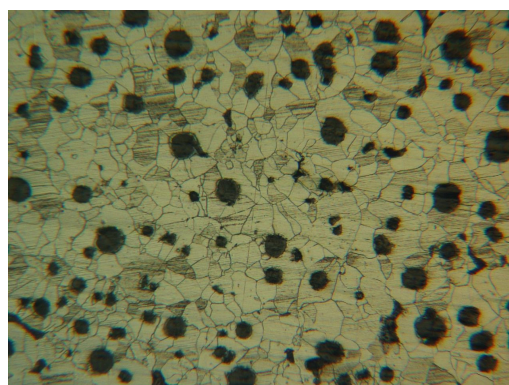
100x

Obr. 3.10 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba JS 20), blok Y, (40 % VI 6 + 60 % VI 7, Fe)



Neleptáno

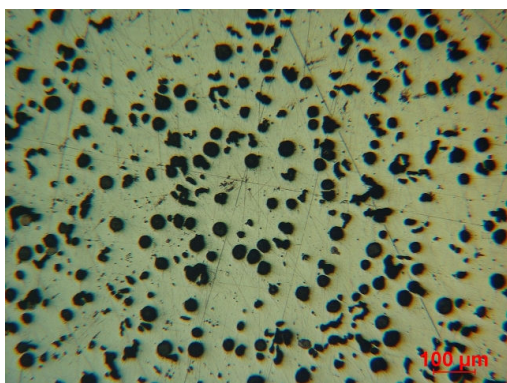
100x



Nital

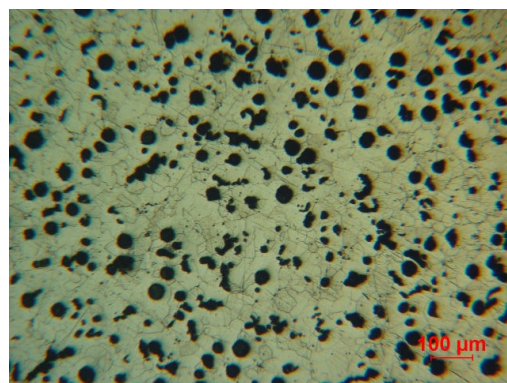
100x

Obr. 3.11 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba JS 21), blok Y, (40 % VI 6 + 60 % VI 7, Fe)

Struktura v litém stavu na reálných odlitcích

Neleptáno

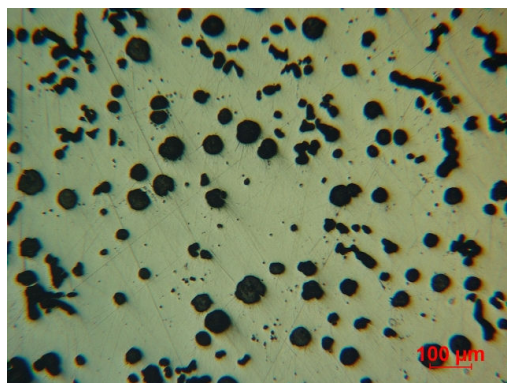
100x



Nital

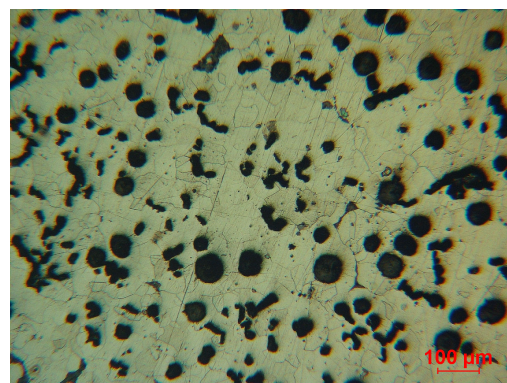
100x

Obr. 3.12 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba 22 – tloušťka 30), náboj, (100 % VI 6, Fe)



Neleptáno

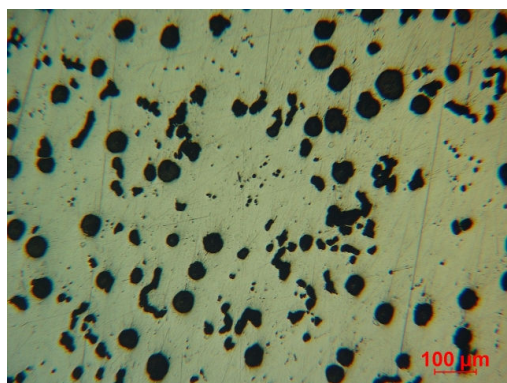
100x



Nital

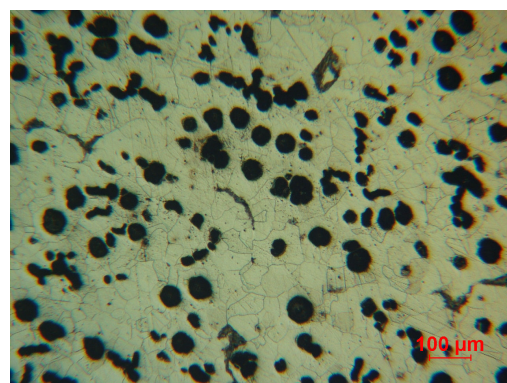
100x

Obr. 3.13 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba 22 – tloušťka 34), náboj, (70 % VI 5 + 30 % III 5, Fe)



Neleptáno

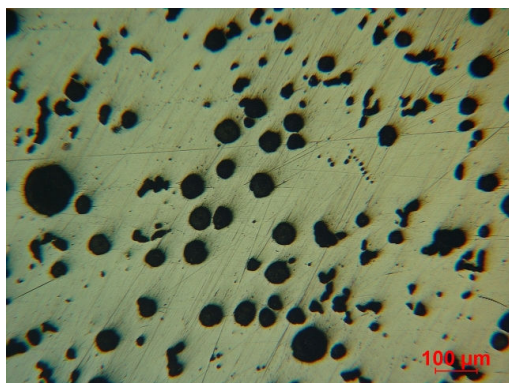
100x



Nital

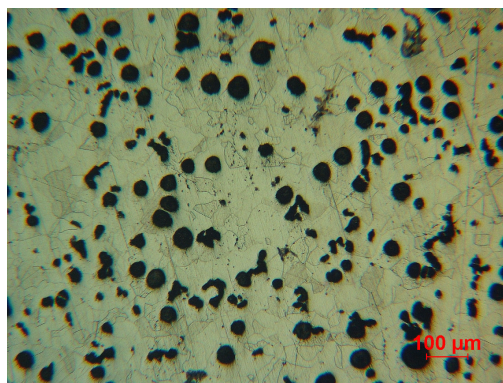
100x

Obr. 3.14 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba 22 – tloušťka 15), náboj, (70 % VI 5 + 30 % III 5, Fe)



Neleptáno

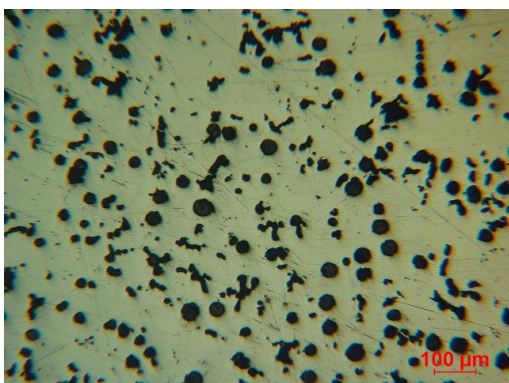
100x



Nital

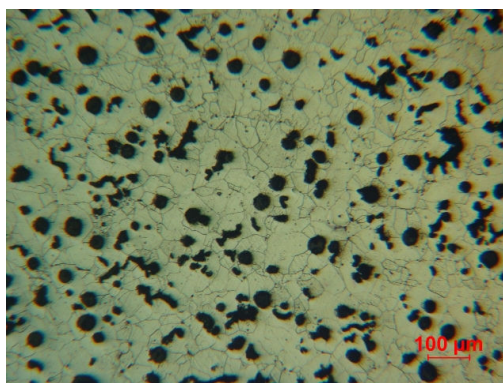
100x

Obr. 3.15 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba 22 – tloušťka 20), náboj, (90 % VI 5 + 10 % III 5, Fe)



Neleptáno

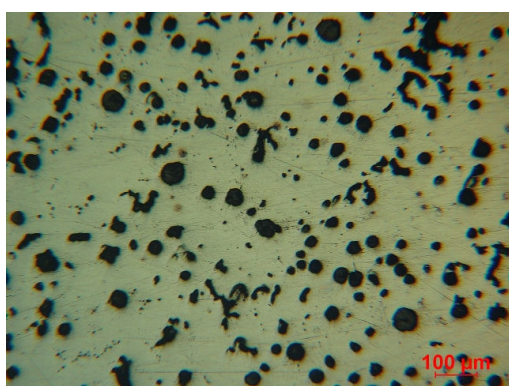
100x



Nital

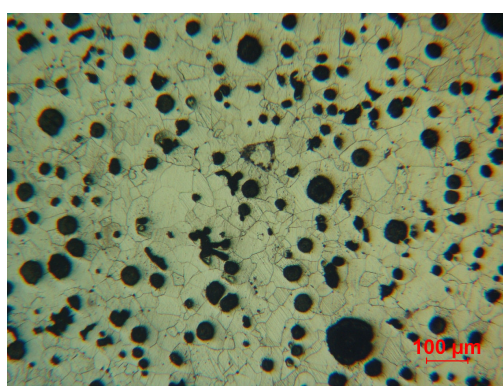
100x

Obr. 3.16 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba 22 – tloušťka 6), náboj, (50 % VI 6 + 50 % III 6, Fe)



Neleptáno

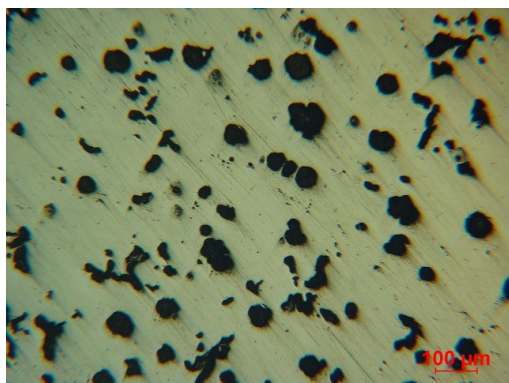
100x



Nital

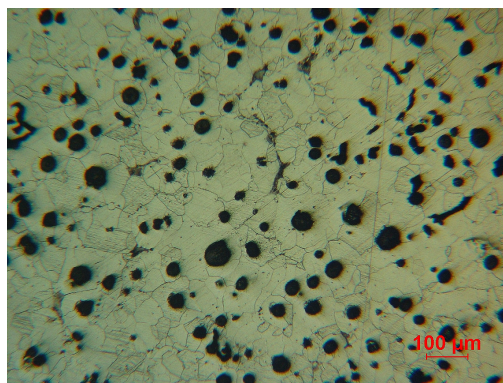
100x

Obr. 3.17 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba 22 – tloušťka 15), Náboj, (90 % VI 5 + 10 % III 6, Fe)



Neleptáno

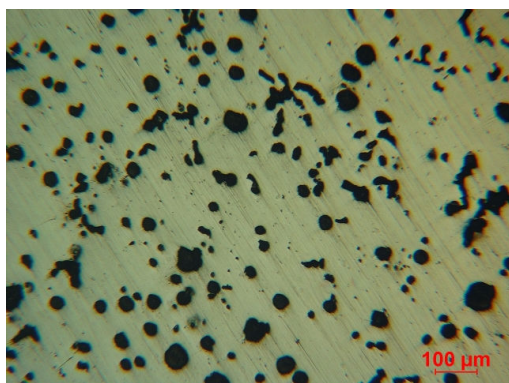
100x



Nital

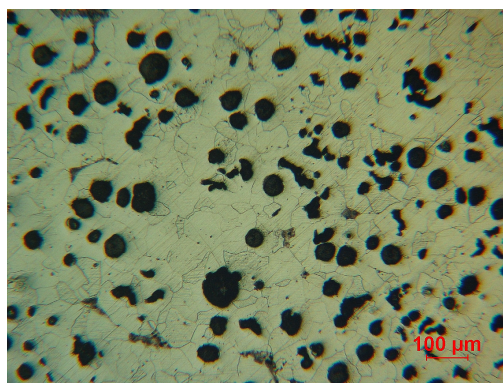
100x

Obr. 3.18 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba 22 – tloušťka 12), náboj, (50 % VI 5 + 50 % III 5, Fe)



Neleptáno

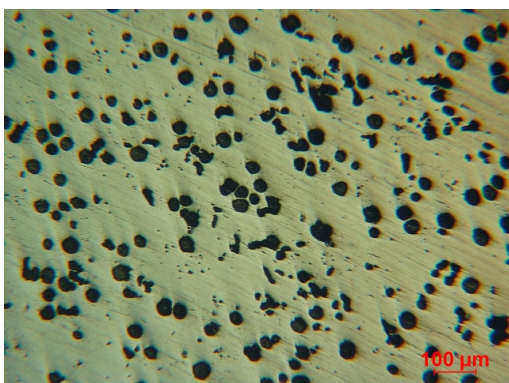
100x



Nital

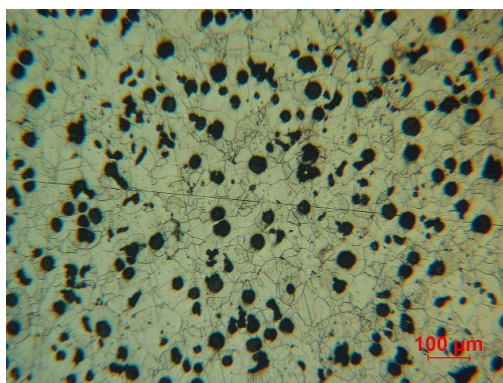
100x

Obr. 3.19 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba 22 – tloušťka 20), náboj, (80 % VI 6 + 20 % III 6, Fe)



Neleptáno

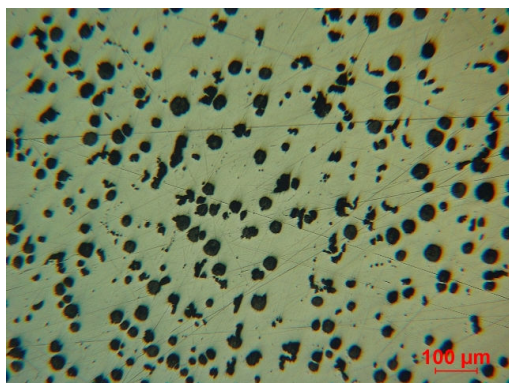
100x



Nital

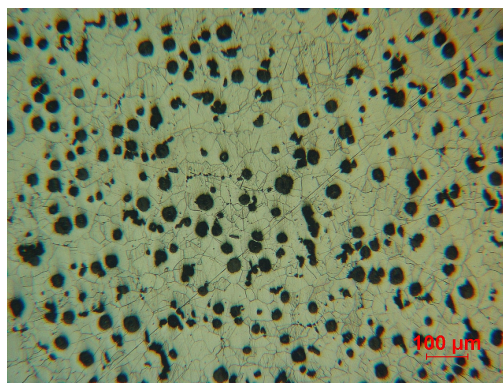
100x

Obr. 3.20 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba 22 – tloušťka 9), páka, (90 % VI 6 + 10 % III 6, Fe)



Neleptáno

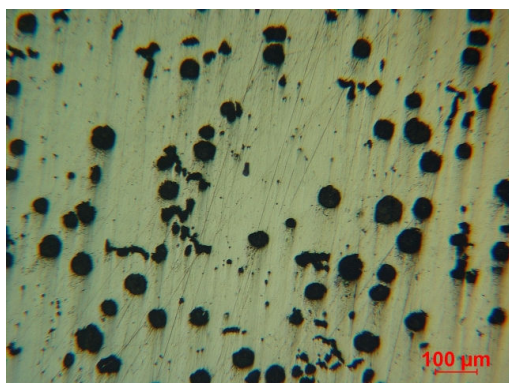
100x



Nital

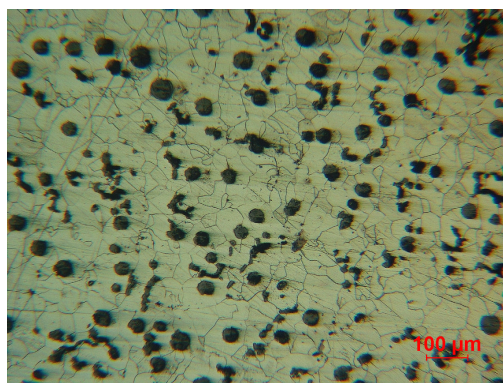
100x

Obr. 3.21 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba 22 – tloušťka 8), páka, (100 % VI 6, Fe)



Neleptáno

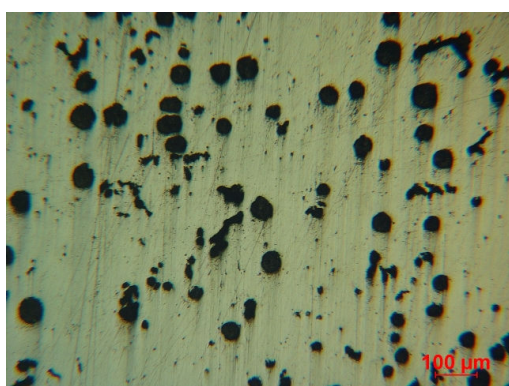
100x



Nital

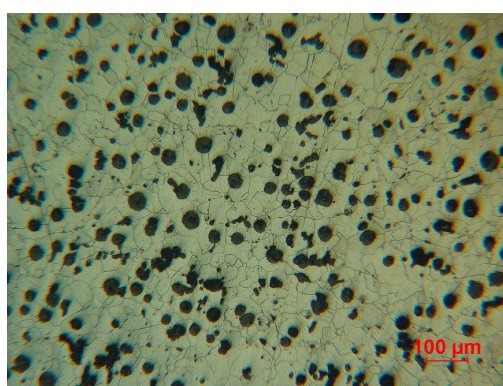
100x

Obr. 3.22 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba 22 – tloušťka 18), páka, (90 % VI 5 + 10 % III 5, Fe)



Neleptáno

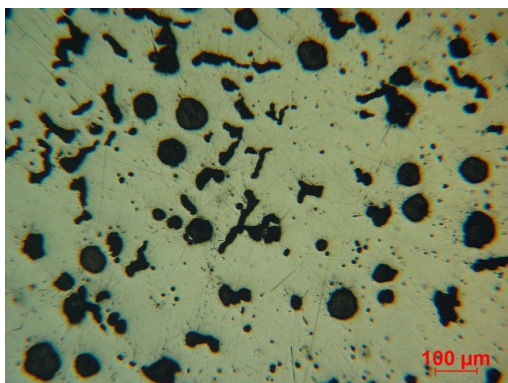
100x



Nital

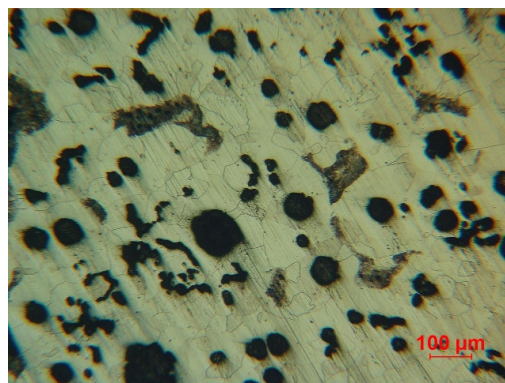
100x

Obr. 3.23 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba 22 – tloušťka 11), Páka, (90 % VI 5 + 10 % III 5, Fe)



Neleptáno

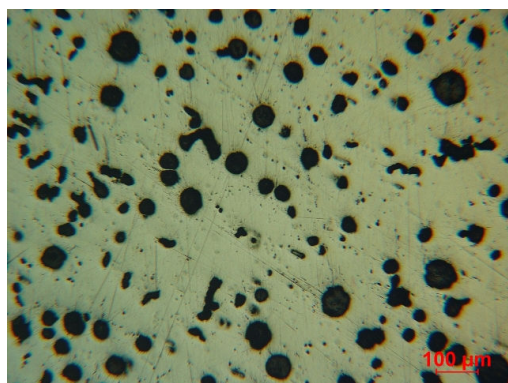
100x



Nital

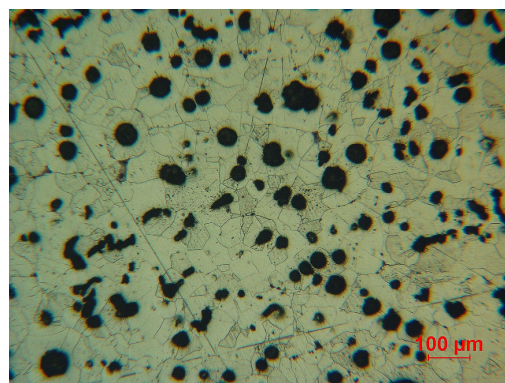
100x

Obr. 3.24 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba 22 – tloušťka 55), páka, (90 % VI 5 + 10 % III 5, P6 Fe 94)



Neleptáno

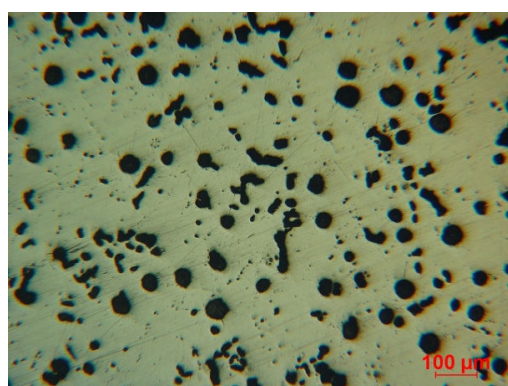
100x



Nital

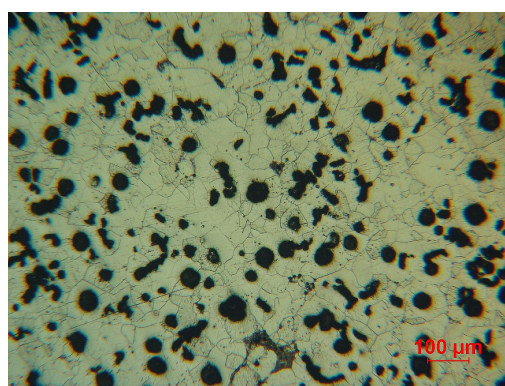
100x

Obr. 3.25 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba 22 – tloušťka 55), páka, (100 % VI 5, Fe)



Neleptáno

100x

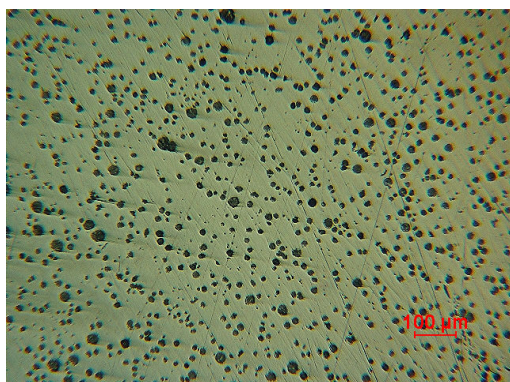


Nital

100x

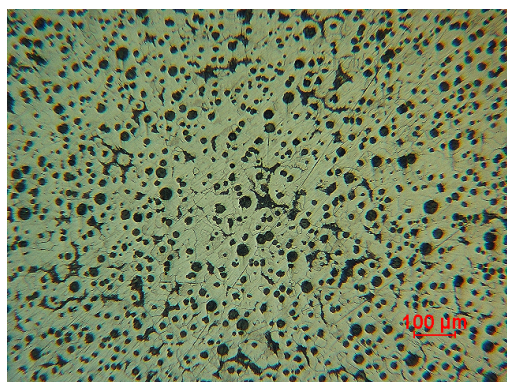
Obr. 3.26 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba 22 – tloušťka 55), páka, (50 % VI 6 + 50 % III 6, Fe)

Struktura v litém stavu na destičkách



Neleptáno

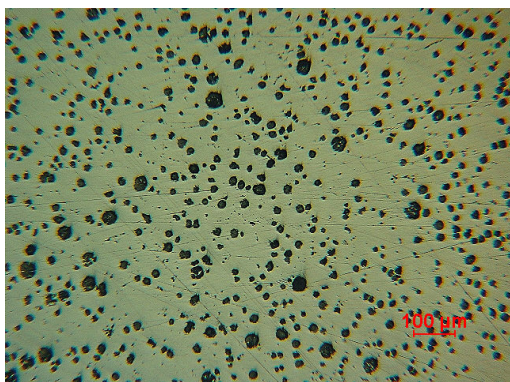
100x



Nital

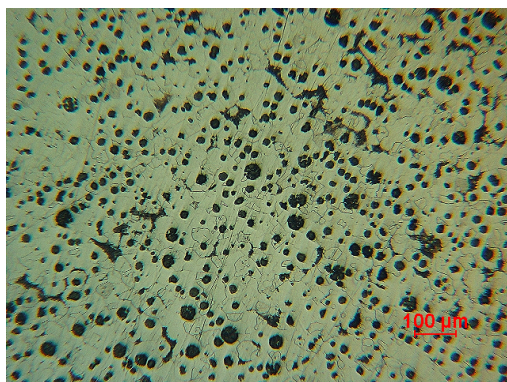
100x

Obr. 3.27 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba 17 – tloušťka 3), destičky, (100 % VI 7, P6 Fe 94)



Neleptáno

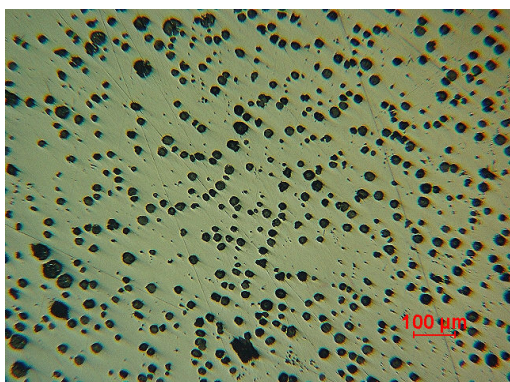
100x



Nital

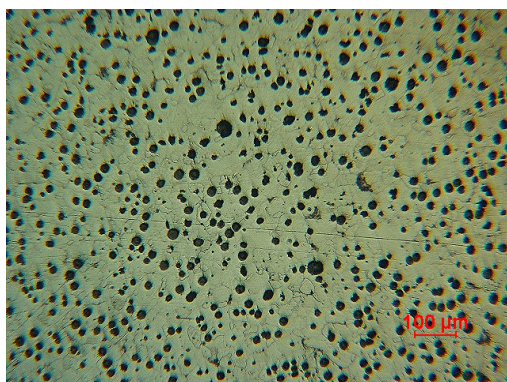
100x

Obr. 3.28 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba 17 – tloušťka 4), destičky, (100 % VI 7, P6 Fe 94)



Neleptáno

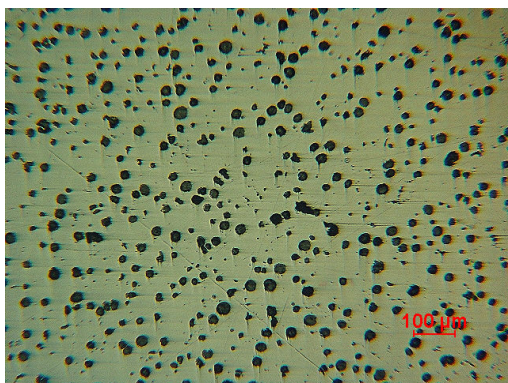
100x



Nital

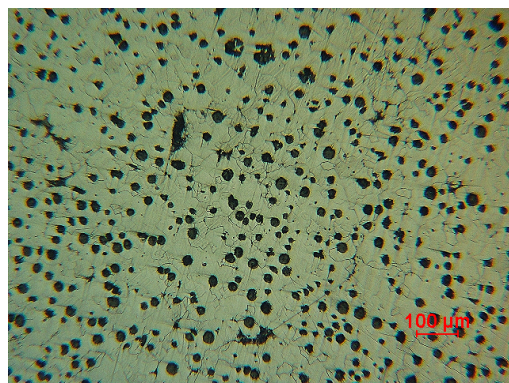
100x

Obr. 3.29 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba 17 – tloušťka 5), destičky, (100 % VI 7, Fe)



Neleptáno

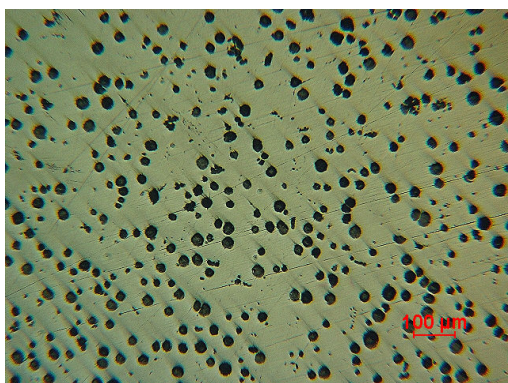
100x



Nital

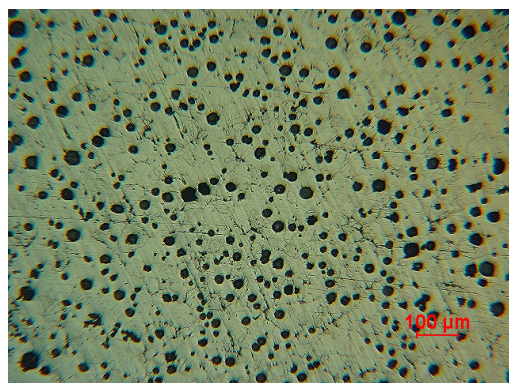
100x

Obr. 3.30 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba 17 – tloušťka 8), destičky, (100 % VI 7, Fe)



Neleptáno

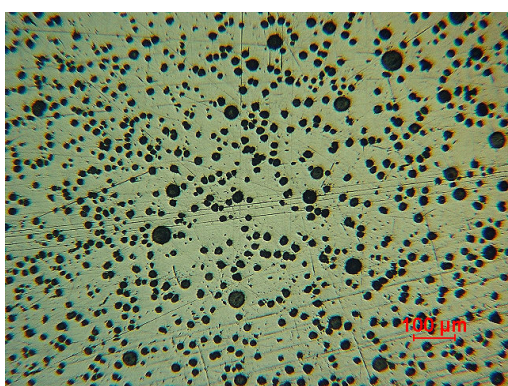
100x



Nital

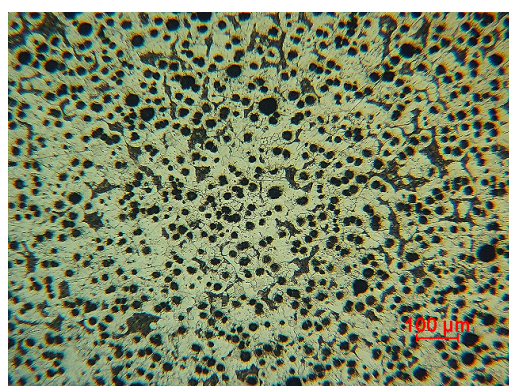
100x

Obr. 3.31 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba 17 – tloušťka 10), destičky, (100 % VI 7, Fe)



Neleptáno

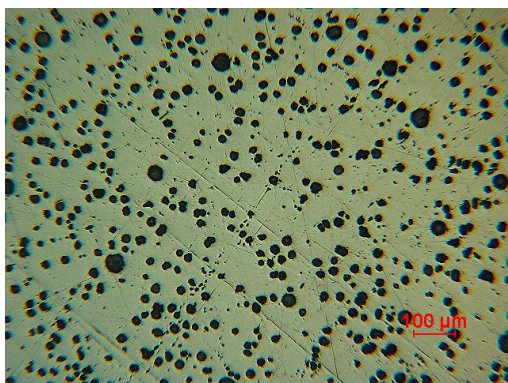
100x



Nital

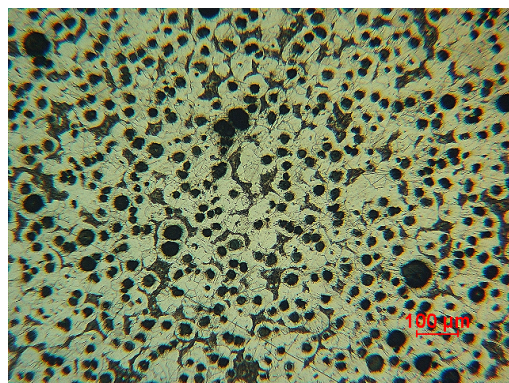
100x

Obr. 3.32 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba 18 – tloušťka 3), destičky, (100 % VI 7, P20 Fe 80)



Neleptáno

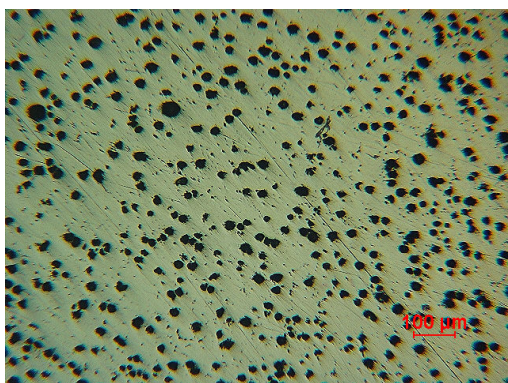
100x



Nital

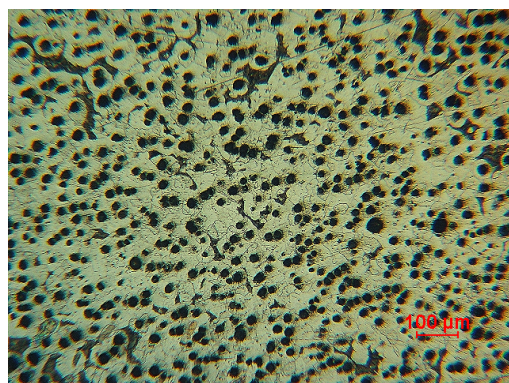
100x

Obr. 3.33 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba 18 – tloušťka 4), destičky, (100 % VI 7, P20 Fe 80)



Neleptáno

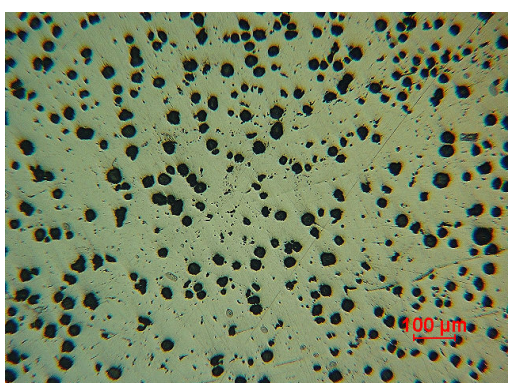
100x



Nital

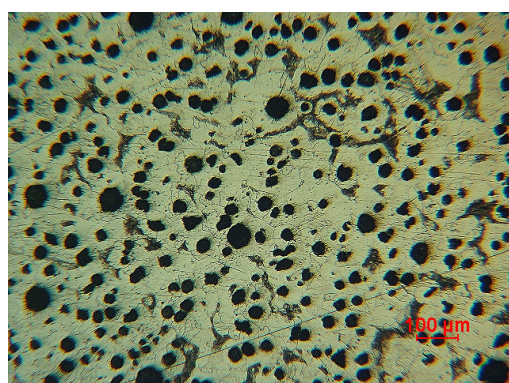
100x

Obr. 3.34 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba 18 – tloušťka 5), destičky, (100 % VI 7, P20 Fe 80)



Neleptáno

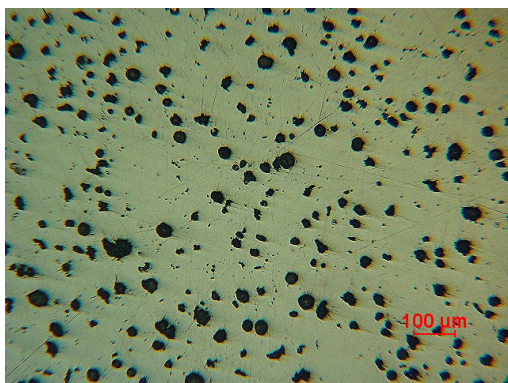
100x



Nital

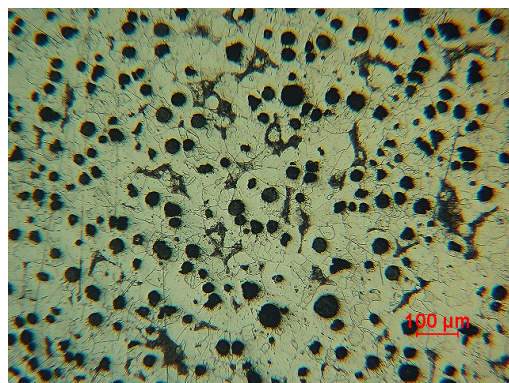
100x

Obr. 3.35 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba 18 – tloušťka 8), destičky, (100 % VI 7, P6 Fe 94)



Neleptáno

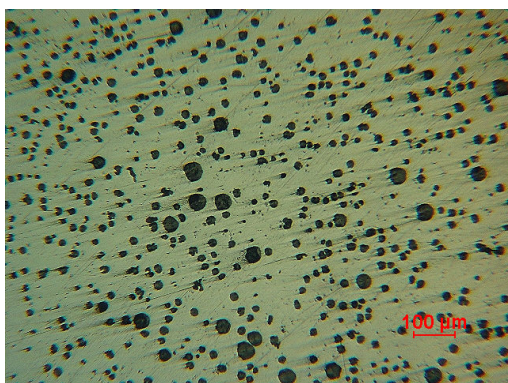
100x



Nital

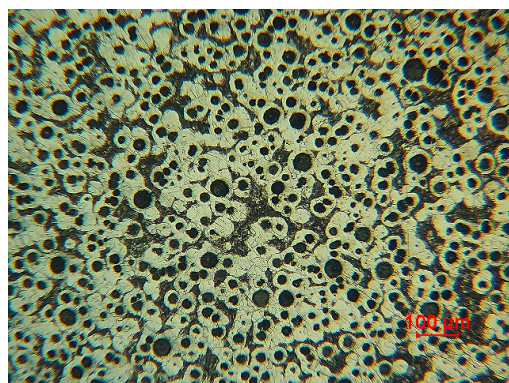
100x

Obr. 3.36 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba 18 – tloušťka 10), destičky, (100 % VI 7, P6 Fe 94)



Neleptáno

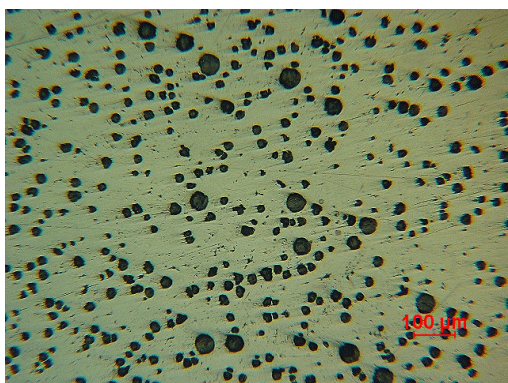
100x



Nital

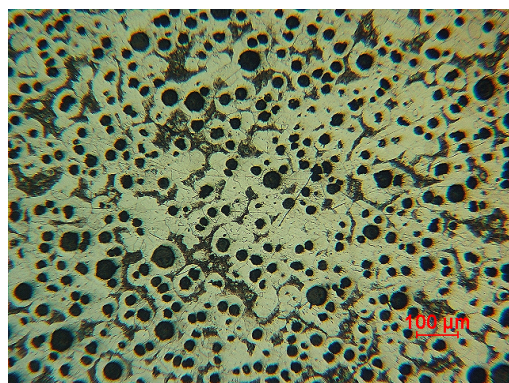
100x

Obr. 3.37 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba 19 – tloušťka 3), destičky, (100 % VI 7, P20 Fe 80)



Neleptáno

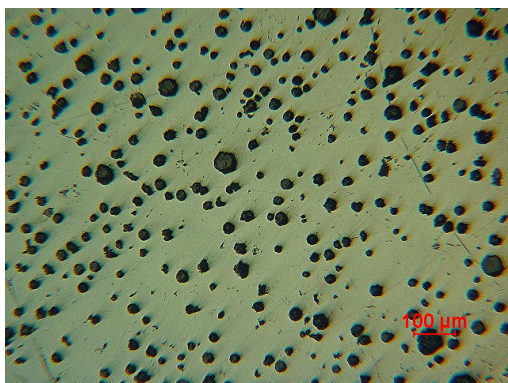
100x



Nital

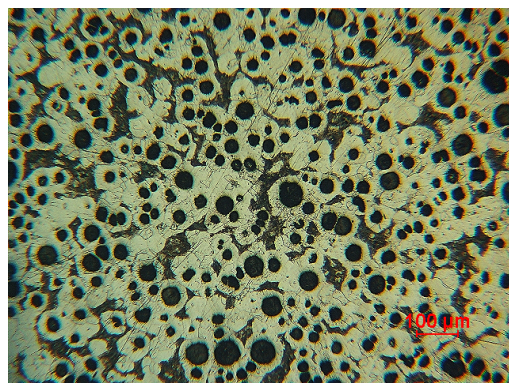
100x

Obr. 3.38 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba 19 – tloušťka 4), destičky, (100 % VI 7, P20 Fe 80)



Neleptáno

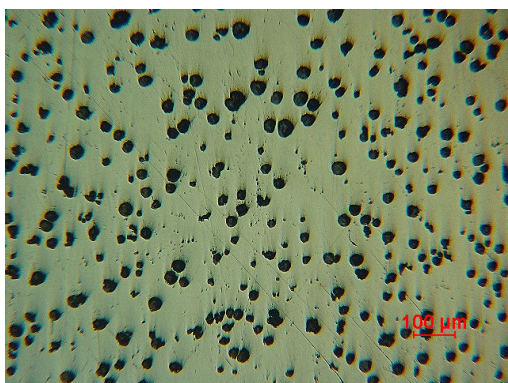
100x



Nital

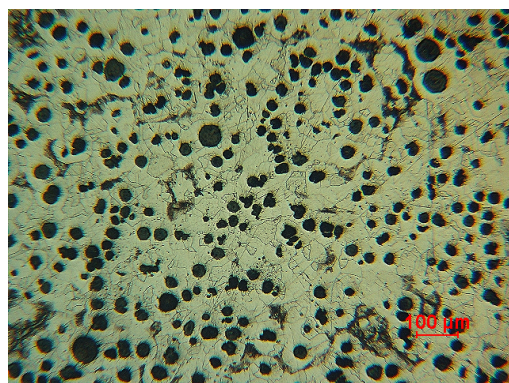
100x

Obr. 3.39 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba 19 – tloušťka 5), destičky, (100 % VI 7, P20 Fe 80)



Neleptáno

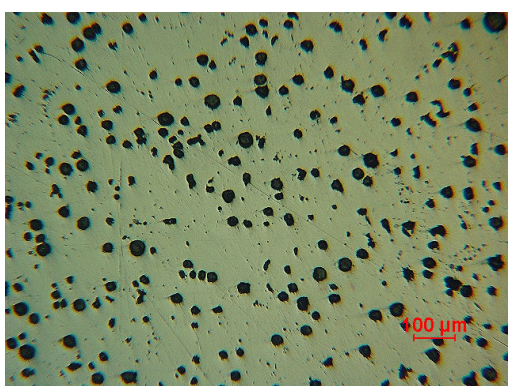
100x



Nital

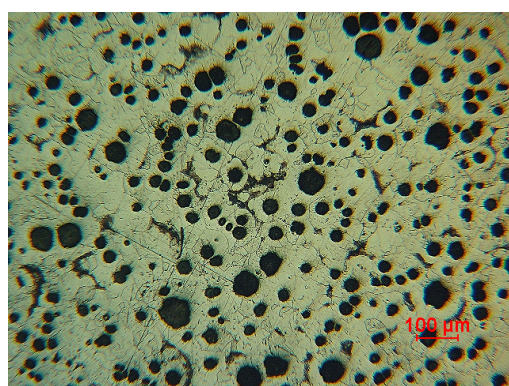
100x

Obr. 3.40 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba 19 – tloušťka 8), destičky, (100 % VI 7, P6 Fe 94)



Neleptáno

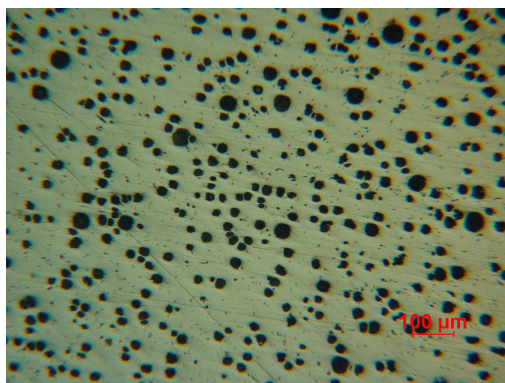
100x



Nital

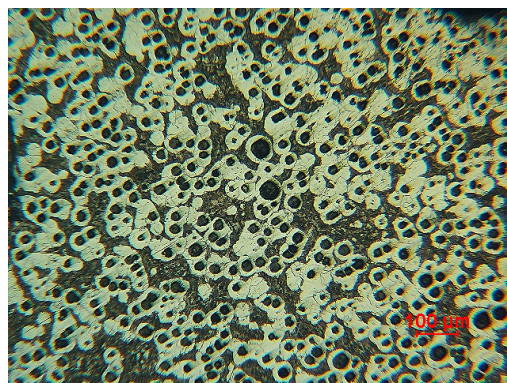
100x

Obr. 3.41 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba 19 – tloušťka 10), destičky, (100 % VI 7, P6 Fe 94)



Neleptáno

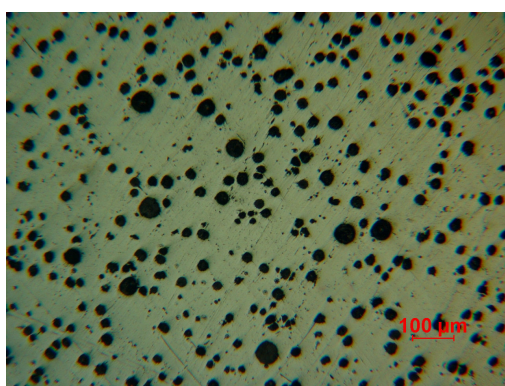
100x



Nital

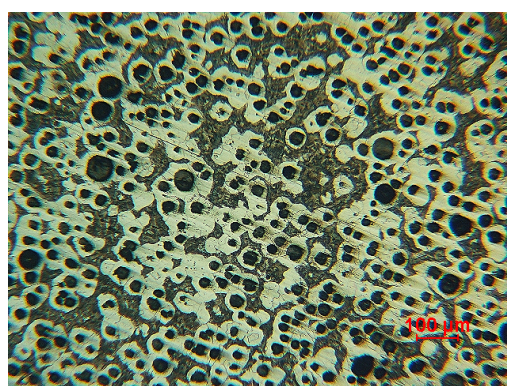
100x

Obr. 3.42 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba 20 – tloušťka 3), destičky, (100 % VI 7, P45 Fe 55)



Neleptáno

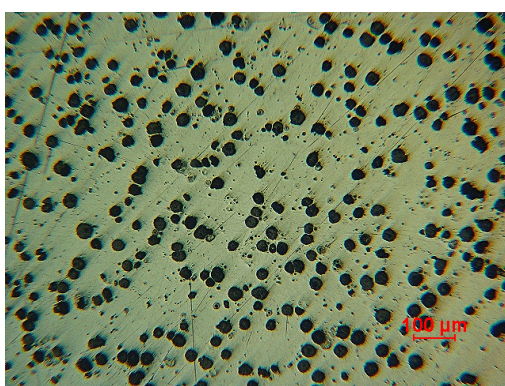
100x



Nital

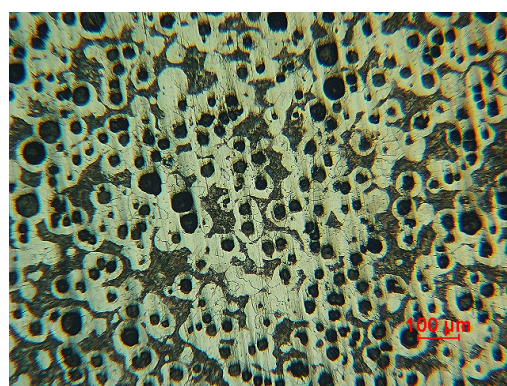
100x

Obr. 3.43 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba 20 – tloušťka 4), destičky, (100 % VI 7, P45 Fe 55)



Neleptáno

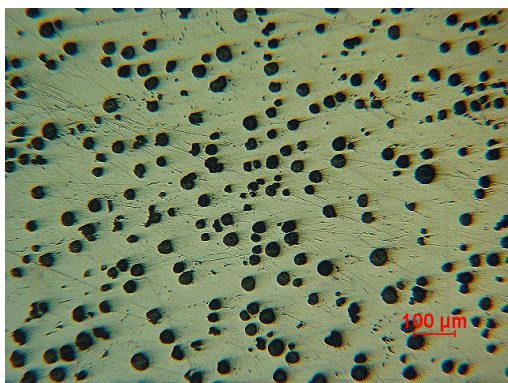
100x



Nital

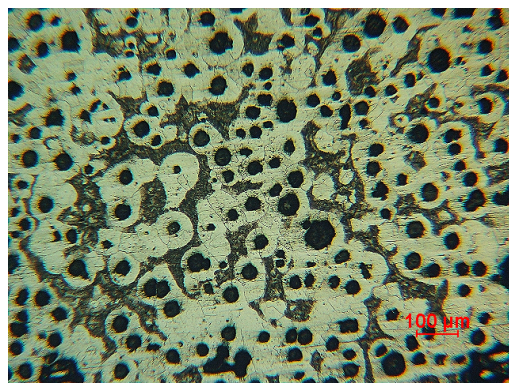
100x

Obr. 3.44 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba 20 – tloušťka 5), destičky, (100 % VI 7, P45 Fe 55)



Neleptáno

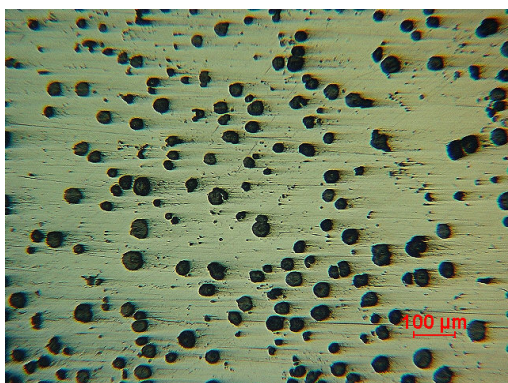
100x



Nital

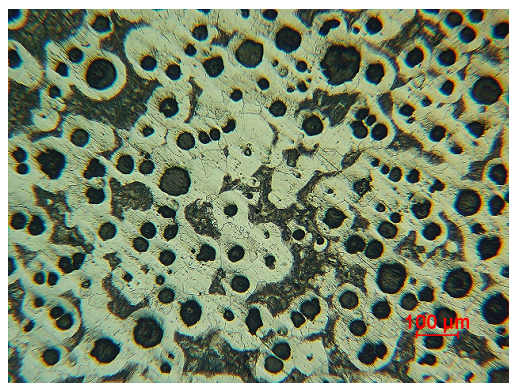
100x

Obr. 3.45 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba 20 – tloušťka 8), destičky, (100 % VI 7, P20 Fe 80)



Neleptáno

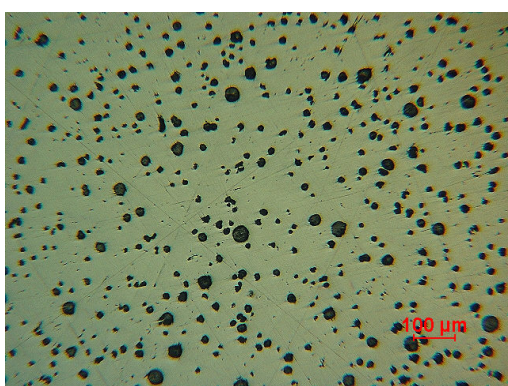
100x



Nital

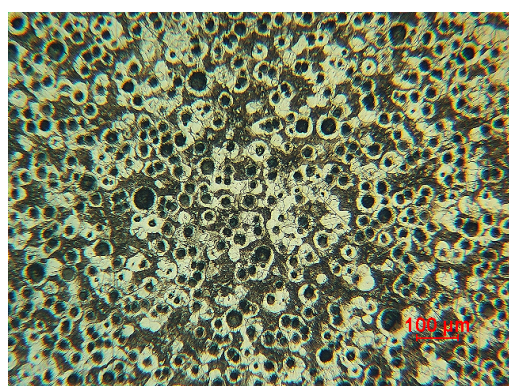
100x

Obr. 3.46 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba 20 – tloušťka 10), destičky, (100 % VI 6, P20 Fe 80)



Neleptáno

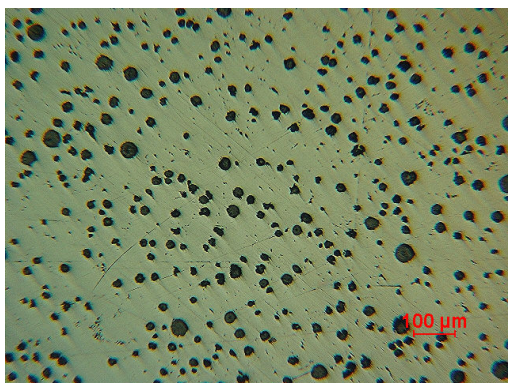
100x



Nital

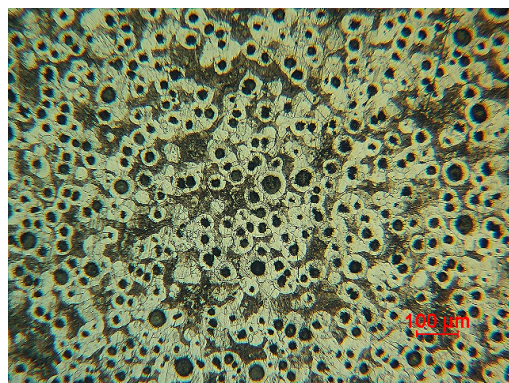
100x

Obr. 3.47 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba 21 – tloušťka 3), destičky, (100 % VI 7, P45 Fe 55)



Neleptáno

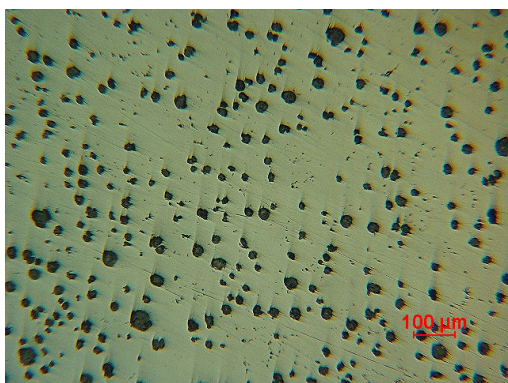
100x



Nital

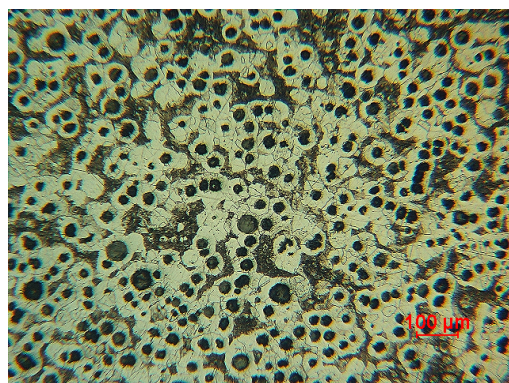
100x

Obr. 3.48 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba 21 – tloušťka 4), destičky, (100 % VI 7, P20 Fe 80)



Neleptáno

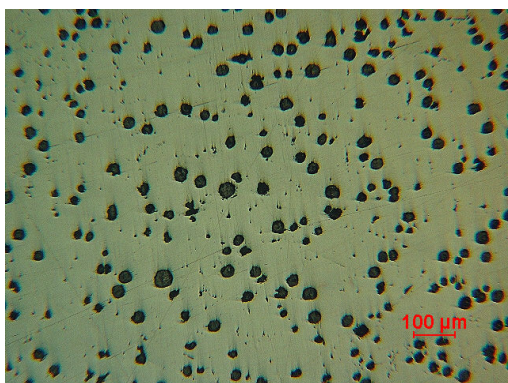
100x



Nital

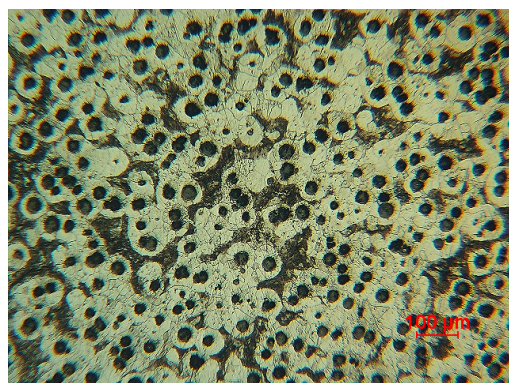
100x

Obr. 3.49 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba 21 – tloušťka 5), destičky, (100 % VI 7, P20 Fe 80)



Neleptáno

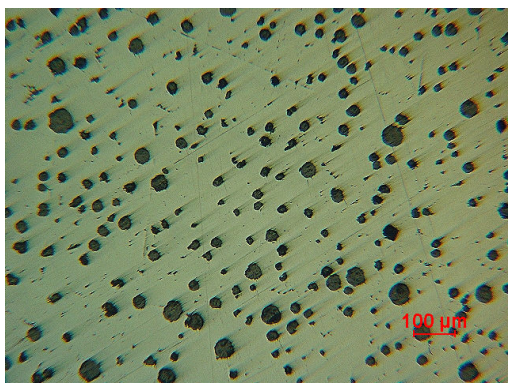
100x



Nital

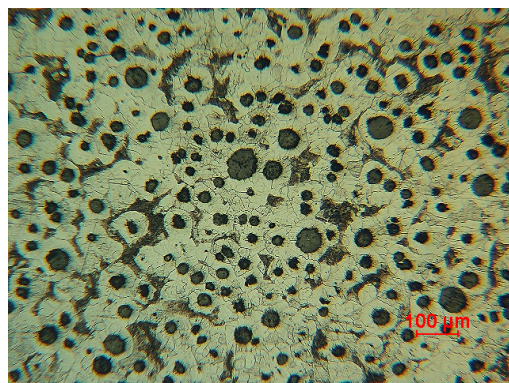
100x

Obr. 3.50 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba 21 – tloušťka 8), destičky, (100 % VI 7, P20 Fe 80)



Neleptáno

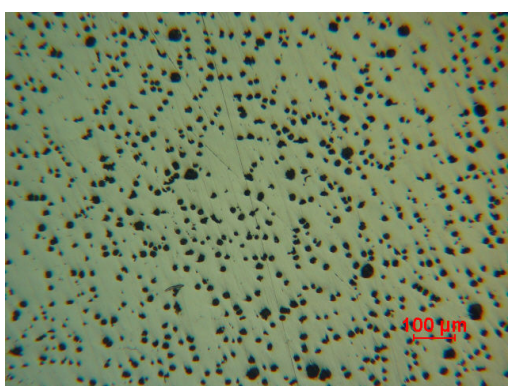
100x



Nital

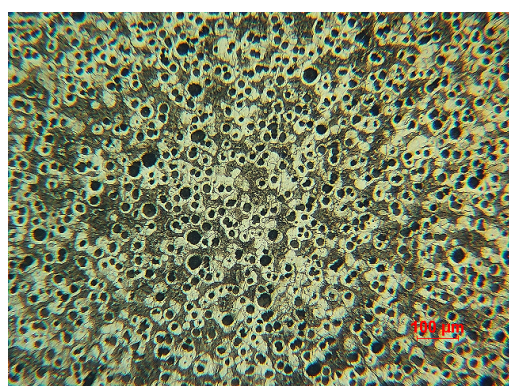
100x

Obr. 3.51 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba 21 – tloušťka 10), destičky, (20 % VI 6 + 80 % VI 7, P20 Fe 80)



Neleptáno

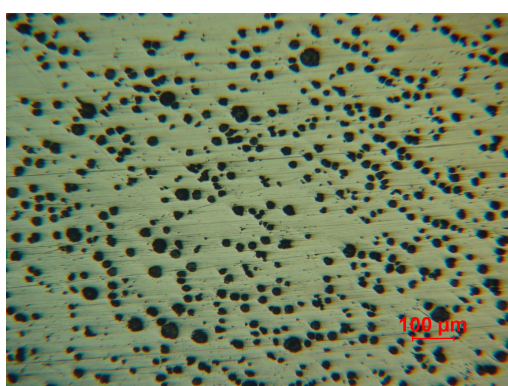
100x



Nital

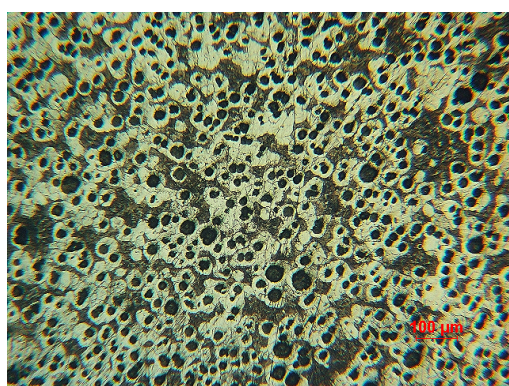
100x

Obr. 3.52 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba V – tloušťka 3), destičky, (20 % VI 7 + 80 % VI 8, P70 Fe 30)



Neleptáno

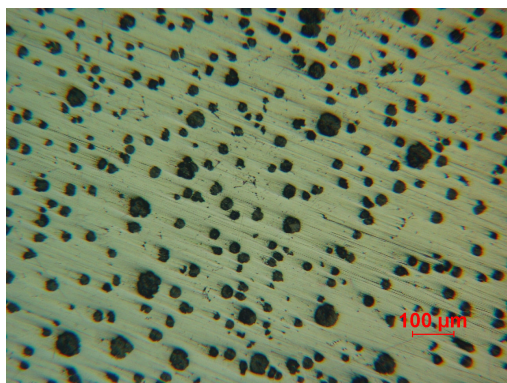
100x



Nital

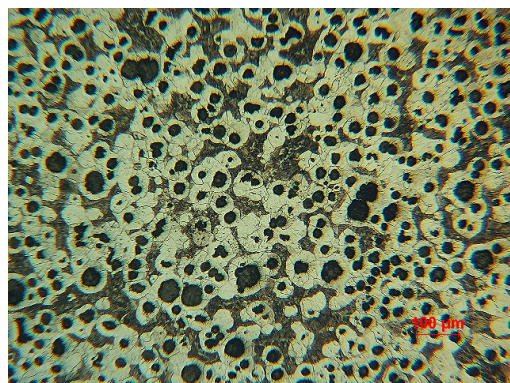
100x

Obr. 3.53 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba V – tloušťka 4), destičky, (30 % VI 6 + 70 % VI 7, P45 Fe 55)



Neleptáno

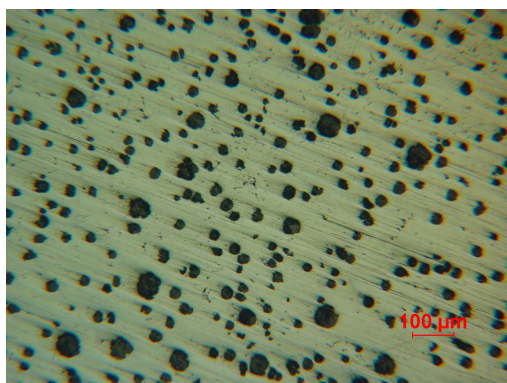
100x



Nital

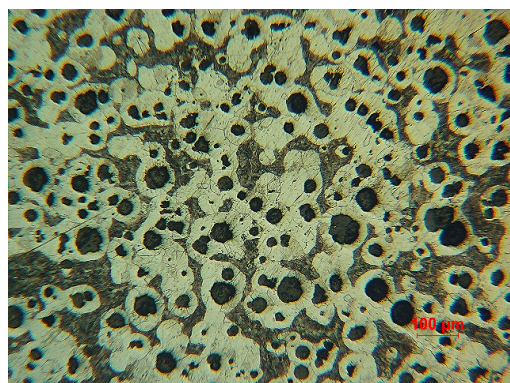
100x

Obr. 3.54 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba V – tloušťka 5), destičky, (30 % VI 6 + 70 % VI 7, P20 Fe 80)



Neleptáno

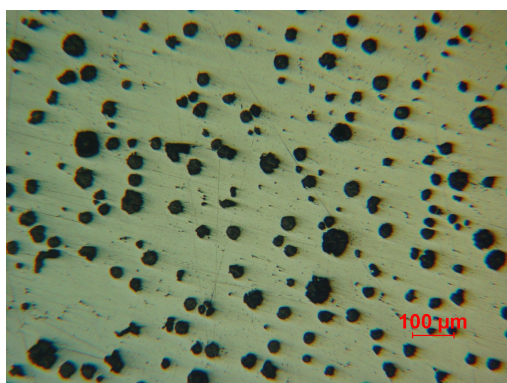
100x



Nital

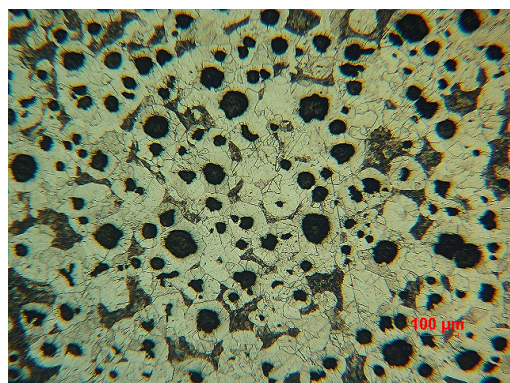
100x

Obr. 3.55 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba V – tloušťka 8), destičky, (30 % VI 6 + 70 % VI 7, P20 Fe 80)



Neleptáno

100x



Nital

100x

Obr. 3.56 Struktura litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si (tavba V – tloušťka 10), destičky, (30 % VI 6 + 70 % VI 7, P20 Fe 80)

Pro lepší orientaci ve získaných strukturách je v následujících tabulkách, viz tab. 3.10 až 3.14 uveden přehled struktur získaných odlitků.

Tab. 3.10 Struktura průmyslových odlitků nejtenčího průřezu náboje

Nejtenčí průřez náboje			
Místo snímání	Tloušťka odlitku [mm]	Metalografická struktura	
		Tvar, velikost a rozložení grafitu	Charakter základní kovové hmoty
1	30	100 % VI 6	Fe
2	34	70 % VI 5 + 30 % III 5	Fe
3	15	70 % VI 5 + 30 % III 5	Fe
4	20	90 % VI 5 + 10 % III 5	Fe

Tab. 3.11 Struktura průmyslových odlitků největšího průřezu náboje

Největší průřez náboje			
Místo snímání	Tloušťka odlitku [mm]	Metalografická struktura	
		Tvar, velikost a rozložení grafitu	Charakter základní kovové hmoty
1	6	50 % VI 6 + 50 % III 6	Fe
2	15	90 % VI 5 + 10 % III 6	Fe
3	12	50 % VI 5 + 50 % III 5	Fe
4	20	80 % VI 6 + 20 % III 6	Fe

Tab. 3.12 Struktura průmyslových odlitků nejtenčího průřezu páky

Nejtenčí průřez páky			
Místo snímání	Tloušťka odlitku [mm]	Metalografická struktura	
		Tvar, velikost a rozložení grafitu	Charakter základní kovové hmoty
1	9	90 % VI 6 + 10 % III 6	Fe
2	8	100 % VI 6	Fe
3	18	90 % VI 5 + 10 % III 5	Fe
4	11	90 % VI 5 + 10 % III 5	Fe

Tab. 3.13 Struktura průmyslových odlitků největšího průřezu páky

Největší průřez páky			
Místo snímání	Tloušťka odlitku [mm]	Metalografická struktura	
		Tvar, velikost a rozložení grafitu	Charakter základní kovové hmoty
1	55	90 % VI 5 + 10 % III 5	P6 Fe 94
2	55	100 % VI 5	Fe
3	55	50 % VI 6 + 50 % III 6	Fe

Tab. 3.14 Struktura destiček a Y – bloku

Tavba	Tloušťka destičky [mm]	Metalografická struktura		Rm [MPa]	A [%]
		Tvar, velikost a rozložení grafitu	Charakter základní kovové hmoty		
JS V	3	20 % VI 7 + 80 % VI 8	P70 Fe 30	468	1,71
	4	30 % VI 6 + 70 % VI 7	P45 Fe 55	460	2,69
	5	30 % VI 6 + 70 % VI 7	P20 Fe 80	452	3,84
	8	30 % VI 6 + 70 % VI 7	P20 Fe 80	367	1,85
	10	30 % VI 6 + 70 % VI 7	P20 Fe 80	396	4,84
	Y - blok	40 % VI 6 + 60 % VI 7	P6 Fe 94	425	20,60
JS 17	3	100 % VI 7	P6 Fe 94	462	0,61
	4	100 % VI 7	P6 Fe 94	404	0,42
	5	100 % VI 7	Fe	481	0,95
	8	100 % VI 7	Fe	383	0,44
	10	100 % VI 7	Fe	492	1,79
	Y - blok	10 % VI 6 + 90 % VI 7	Fe	571	22,93
JS 18	3	100 % VI 7	P20 Fe 80	505	5,07
	4	100 % VI 7	P20 Fe 80	523	6,14
	5	100 % VI 7	P20 Fe 80	472	3,32
	8	100 % VI 7	P6 Fe 94	492	5,42
	10	100 % VI 7	P6 Fe 94	381	2,01
	Y - blok	10 % VI 6 + 90 % VI 7	Fe	502	22,69
JS 19	3	100 % VI 7	P20 Fe 80	560	2,83
	4	100 % VI 7	P20 Fe 80	568	4,70
	5	100 % VI 7	P20 Fe 80	439	0,87
	8	100 % VI 7	P6 Fe 94	309	0,32
	10	100 % VI 7	P6 Fe 94	418	2,94
	Y - blok	30 % VI 6 + 70 % VI 7	Fe	531	23,15
JS 20	3	100 % VI 7	P45 Fe 55	543	3,35
	4	100 % VI 7	P45 Fe 55	570	6,46
	5	100 % VI 7	P45 Fe 55	553	7,69
	8	100 % VI 7	P20 Fe 80	391	0,33
	10	100 % VI 6	P20 Fe 80	354	1,49
	Y - blok	40 % VI 6 + 60 % VI 7	Fe	502	25,30
JS 21	3	100 % VI 7	P45 Fe 55	538	2,27
	4	100 % VI 7	P20 Fe 80	484	0,99
	5	100 % VI 7	P20 Fe 80	523	2,94
	8	100 % VI 7	P20 Fe 80	488	1,84
	10	20 % VI 6 + 80 % VI 7	P20 Fe 80	428	1,87
	Y - blok	40 % VI 6 + 60 % VI 7	Fe	503	26,27

3.3.3 Sledování tvrdosti odlitků

Měření tvrdosti bylo prováděno na odlitcích s různými tloušťkami obr. 3.57., na Y – bloku obr. 3.58 a na dvou průmyslových odlitcích obr. 3.59. Pro toto měření byla použita metoda podle Brinella (HB). Byl použit tvrdoměr firmy Carl Zeiss umístěný v laboratoři Katedry materiálu FS, TU v Liberci. Jako zkušební tělísko (indentor) byla použita kulička z kalené oceli o průměru 5 mm. Použité zatížení bylo 7355 N (750 kp) po dobu cca 30 s. Pomocí optické jednotky byly naměřeny dva na sebe kolmé průměry získaných vtisků. Z těchto hodnot tvrdostí byla vypočítána střední hodnota průměru vtisku. K této hodnotě vtisku byla pomocí tabulek přiřazena výsledná hodnota tvrdosti.



Obr. 3.57 Tenkostěnný odlitek s různou tloušťkou



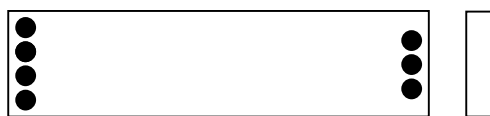
Obr. 3.58 Y – blok



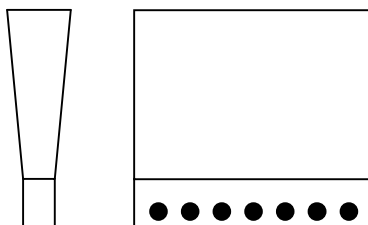
Obr. 3.59 Průmyslové odlitky (páka a náboj)

Vzorky byly náležitě obroušeny od licí kůry a nečistot. K tomuto kroku byla použita stolní bruska. Při broušení nesmí dojít k přehřátí vzorku, aby nedošlo k ovlivnění struktury.

Tvrdost na destičkách a ypsilonovém bloku byla měřena na sedmi místech. Na destičkách se měřilo čtyři na vtoku a tři u nálitku viz obr. 3.60. a na Y – bloku se měřilo na spodní straně po celé délce kvádrů viz obr. 3.61. Tvrdost na reálných odlitcích je znázorněna na obr. 3.62. Výsledky těchto měření je zaznamenáno do tab. 3.15 až 3.17.

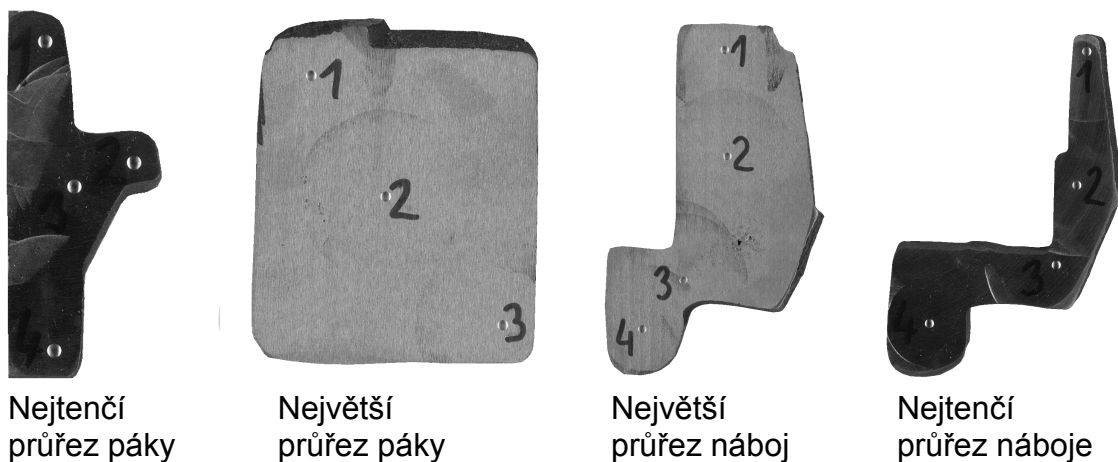


Obr. 3.60 Místa měření na tenkostěnných destičkách



Obr. 3.61 Místa měření na ypsilonový bloku

Podobně jako na obr. 3.5 jsou na obr. 3.62 zobrazena místa průmyslově vyráběných odlitků, kde byla měřena tvrdost dle zkoušky Brinalla. Hodnoty naměřených tvrdostí jsou uvedeny v tab. 3.16 až 3.17.



Obr. 3.62 Místa měření tvrdostí na průmyslových odlitcích (tavba JS 22)

Tab. 3.15 Tvrdosti zkušebních tělísek tvaru destiček a bloků tvaru Y

TAVBA	Tloušťka destičky [mm]	Tvrdost [HB]							Střední hodnota tvrdosti [HB]	Směrodatná odchylka tvrdosti [HB]
V	3	160	166	166	229	229	165	230	192	32
	4	164	174	169	207	213	170	210	187	20
	5	170	175	169	187	202	173	190	181	11
	8	169	169	172	170	174	170	172	171	2
	10	169	172	172	172	172	170	171	171	1
	Y - blok	179	179	175	180	179	177	175	178	2
JS 17	3	207	219	215	200	207	213	202	209	6
	4	211	211	211	219	222	211	219	215	5
	5	213	213	213	200	215	215	219	213	5
	8	219	219	215	215	215	209	213	215	3
	10	207	213	215	211	213	211	209	211	2
	Y - blok	217	219	217	217	217	219	217	218	1
JS 18	3	202	197	189	195	191	197	189	194	4
	4	197	195	204	200	207	197	193	199	5
	5	198	195	198	209	204	191	193	198	6
	8	197	202	200	202	207	197	198	200	3
	10	202	197	191	202	200	200	195	198	4
	Y - blok	197	197	198	197	195	195	195	196	1
JS 19	3	202	204	198	209	207	193	195	201	6
	4	207	213	209	215	213	207	204	210	4
	5	213	213	211	215	211	209	211	212	2
	8	209	215	211	215	215	211	213	213	2
	10	211	209	209	209	207	202	207	208	3
	Y - blok	207	209	209	209	209	213	204	209	2
JS 20	3	195	202	191	204	198	191	204	198	5
	4	191	187	195	209	202	189	198	196	7
	5	191	198	189	207	202	195	209	199	7
	8	200	193	193	200	204	191	202	198	5
	10	191	193	193	202	209	195	209	199	7
	Y - blok	193	193	193	197	193	191	193	193	2
JS 21	3	193	189	213	211	219	213	209	207	10
	4	189	193	193	195	204	207	213	199	8
	5	191	198	193	193	204	200	207	198	6
	8	189	185	195	193	193	209	198	195	7
	10	195	185	187	187	193	197	204	193	6
	Y - blok	193	198	191	197	191	195	195	194	3

Tab. 3.16 Hodnoty tvrdostí z různých míst průmyslově vyráběných odlitků (viz obr. 3.62)

Páka					
Nejtenčí průřez páky			Největší průřez páky		
Místo měření	Tvrdost [HB]	Tloušťka odlitku [mm]	Místo měření	Tvrdost [HB]	Tloušťka odlitku [mm]
1	191	9	1	202	55
2	193	8	2	202	55
3	200	18	3	202	55
4	198	11	4		

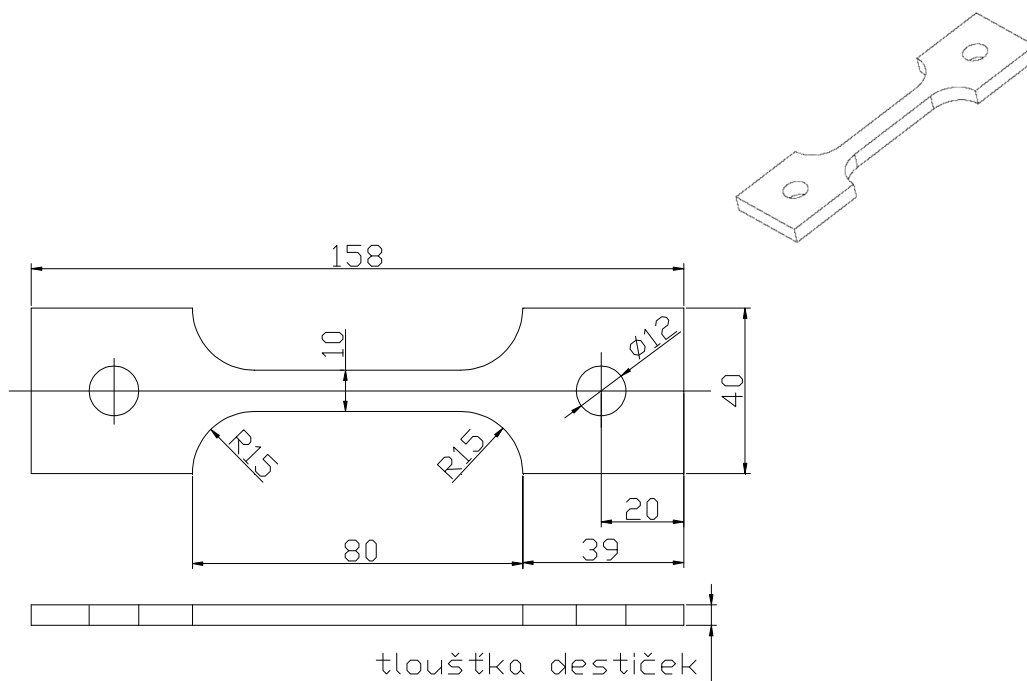
Tab. 3.17 Hodnoty tvrdostí z různých míst průmyslově vyráběných odlitků (viz obr. 3.62)

Náboj					
Nejtenčí průřez náboje			Největší průřez náboje		
Místo měření	Tvrdost [HB]	Tloušťka odlitku [mm]	Místo měření	Tvrdost [HB]	Tloušťka odlitku [mm]
1	197	30	1	197	6
2	197	34	2	198	15
3	200	15	3	200	12
4	200	20	4	198	20

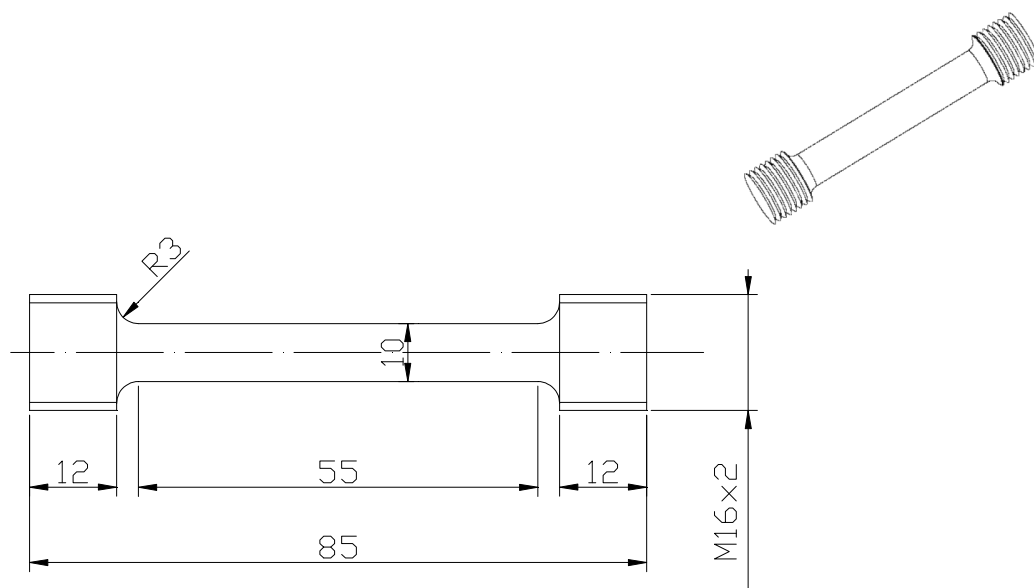
3.3.4 Sledování pevnosti v tahu zkušebních tělísek odlitků

Pro porovnání s normou ISO 1083:2004 (E), která se týká sledování: „Spheroidal graphite cast irons with high silicon content“, resp. u nás již s platnou s normou ČSN EN 1563 byla sledována pevnost a tažnost zkušebních vzorků z odlitků bloků Y a destiček. Tvar zkušebních vzorků pro sledování pevnosti destiček je patrný z obr. 3.63. Tvar zkušebních vzorků pro sledování pevnosti bloků tvaru Y je na obr. 3.64. Tvar zkušebního vzorku byl vyroben dle ČSN EN 1563. Tato měření pevnosti litiny v tahu měla ukázat, zda-li vyrobené odlitky s různou tloušťkou stěny dosahují předepsanou pevnost v tahu dle ČSN EN 1563 a ISO 1083:2004 (E).

Pro měření pevnosti v tahu byl použit trhací stroj TIRA test 2300 a laserový extenzometr (firmy Fiedler optoelektronik GmbH), který slouží k zaznamenání prodloužení.



Obr. 3.63 Rozměry zkušební vzorku (destiček tloušťky 3, 4, 5, 8, 10 mm) [7]



Obr. 3.64 Rozměry zkušební vzorku z bloku Y (zkušební tyč pro zkoušku tahem), dle ČSN EN 1563

3.3.4.1 Popis měřicího zařízení

Pro měření pevnosti v tahu vzorků LKG bylo použito měřicí zařízení, které je na naší katedře (KSP-FS, TU Liberec). Skládá se ze dvou

samostatných celků, univerzálního trhacího stroje TIRA test 2300 a laserového extenzometru bezdotykový (fa. Fiedler Optoelektronik GmbH).

Univerzální trhací stroj - TIRA test 2300 byl použit pro měření tahových charakteristik vzorků vyrobené z LKG. Tento stroj může vyvozovat maximální tahovou sílu 100 kN. Tahová síla je měřena pomocí odporových tenzometrů zabudovaných přímo na upínacím zařízení trhacího stroje, který má vyměnitelné speciální čelisti pro upínání čtvercových tyčí s otvorem pro čep. Konstrukce čtvercových tyčí s otvorem pro čep v kombinaci s konstrukcí čelistí stroje a zakalených čepů, vylučuje možnost přídavných ohybových momentů. Laserový extenzometr, umožňuje bezkontaktní měření lokálně rozloženého tahového napětí na různých vzorcích při jednoosé tahové zkoušce a s tím souvisejících experimentech.

Na připravené vzorky litiny byly po změření jeho průřezu dřívku nanесeny kontrastující značky (nalepení papírových samolepících štítků) a to ve vzdálenosti $l_0 = 50$ mm. Tyto hodnoty rozměry dřívku zkušebních vzorků byly zapsány do tab. 3.18. Pak následovalo upnutí zkušebního vzorku do čelistí trhacího stroje a nastavení přesné polohy laserového extenzometru vůči vzorku s ohledem na šířku laserového paprsku, která je 55 mm (pro nastavení skenující oblasti na zkušebním vzorku, je třeba brát v ohled prodloužení vzorku, aby se značky nedostaly mimo měřenou oblast). Doporučovaná vzdálenost laserového extenzometru od vzorku je zhruba 200 mm, pro co nejlepší citlivost zařízení. Pomocí programu LGM, který je součástí vybavení trhacího stroje, byla provedena kontrola správnosti nastavení měřicího zařízení. Pak následovalo nastavení veškerých parametrů zkušebního vzorku (rozměry, umístění značek) v programu LOMP. Postupným zatěžováním vzorku vnější tahovou silou dojde k přetržení vzorku. Data tahového napětí z trhacího zařízení se digitálně zpracovávají v softwaru LOM. Tento software zaznamenává sílu a optimalizuje příčné zúžení a další data experimentu, která dále synchronizuje s poměrným prodloužením vzorku. Registrovaná naměřená data jsou zobrazovaná na monitoru zařízení. Současně jsou ukládána do souboru a následně analyzována softwarem LQA. Naměřené a digitálně zpracované hodnoty z programu LQA jsou uvedeny v tabulce 3.18.

Tab. 3.18 Hodnoty z programu LQA a rozměry dříku destiček

Tavba	Tloušťka destičky [mm]	Naměřené hodnoty [mm]	Rm [MPa]	A [%]
JS V	3	3,2 x 9,74	468	1,71
	4	4,26 x 9,74	460	2,69
	5	5,45 x 9,78	452	3,84
	8	8,19 x 9,82	367	1,85
	10	10,38 x 9,74	396	4,84
	Y - blok		425	20,60
JS 17	3	4,26 x 10,16	462	0,61
	4	5,74 x 10,18	404	0,42
	5	5,5 x 10,12	481	0,95
	8	7,94 x 10,19	383	0,44
	10	11,35 x 10,1	492	1,79
	Y - blok		571	22,93
JS 18	3	4,3 x 10,5	505	5,07
	4	5,14 x 9,95	523	6,14
	5	5,87 x 9,98	472	3,32
	8	8,7 x 10,07	492	5,42
	10	11,64 x 9,95	381	2,01
	Y - blok		502	22,69
JS 19	3	3,79 x 9,71	560	2,83
	4	4,88 x 9,75	568	4,70
	5	6,01 x 9,7	439	0,87
	8	8,38 x 9,78	309	0,32
	10	9,68 x 9,72	418	2,94
	Y - blok		531	23,15
JS 20	3	4 x 9,9	543	3,35
	4	4,97 x 9,89	570	6,46
	5	6,04 x 9,96	553	7,69
	8	8,55 x 9,87	391	0,33
	10	10,95 x 9,88	354	1,49
	Y - blok		502	25,30
JS 21	3	3,64 x 10	538	2,27
	4	4,68 x 10	484	0,99
	5	5,72 x 10	523	2,94
	8	7,96 x 10	488	1,84
	10	9,75 x 9,98	428	1,87
	Y - blok		503	26,27

3.4 Vyhodnocení experimentů

3.4.1 Vyhodnocení bloků tvaru Y

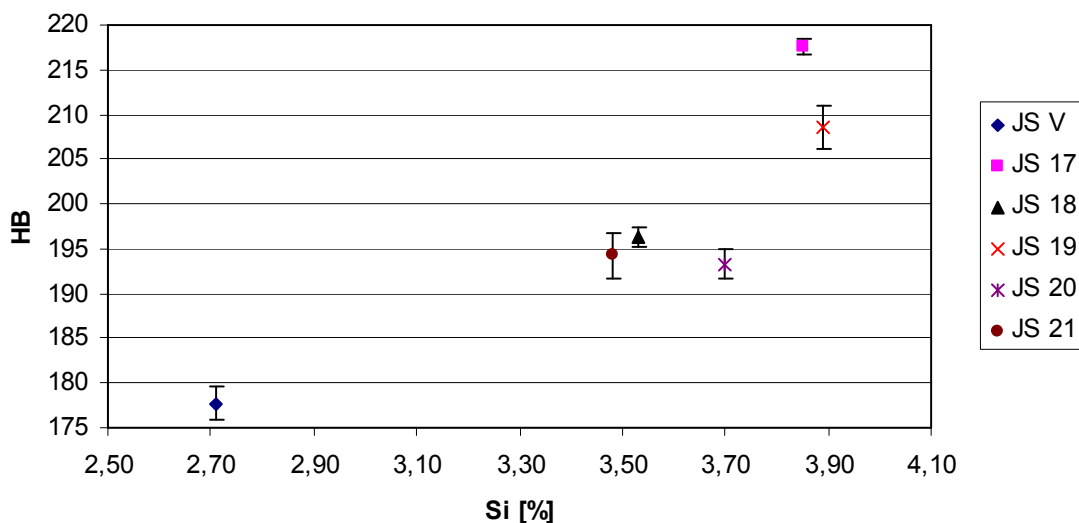
Jak je z výsledků hodnocené bloků Y patrné, se zvýšením obsahu křemíku vzrůstá podíl feritu v základní kovové matici. Tato struktura byla pozorována na vzorku, který při tuhnutí litiny měl tloušťku 25 mm a z něho byla vyrobena zkušební tyč, viz obr. 3.64. Jak je z tabulky 3.19 zřejmé při obsahu 2,71 %Si je struktura tvořená P6% perlitu a 94 % feritu. Při obsahu 3,48 % Si a výše, litina obsahuje již jen feritickou základní kovovou hmotu. To znamená, že již při přidavku cca 0,80 % křemíku vznikla čistě feritická matrice. Přídavkem křemíku současně vzniká i více malých částic grafitu, snižuje se podíl velkých částic velikosti 6. Grafit má pravidelně kuličkový tvar.

Jak je z normy ISO 1083: 2004 (E) patrné, grafit v litině s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si by měl být převážně pravidelně zrnitý.

Tab. 3.19 Struktura Y – bloku

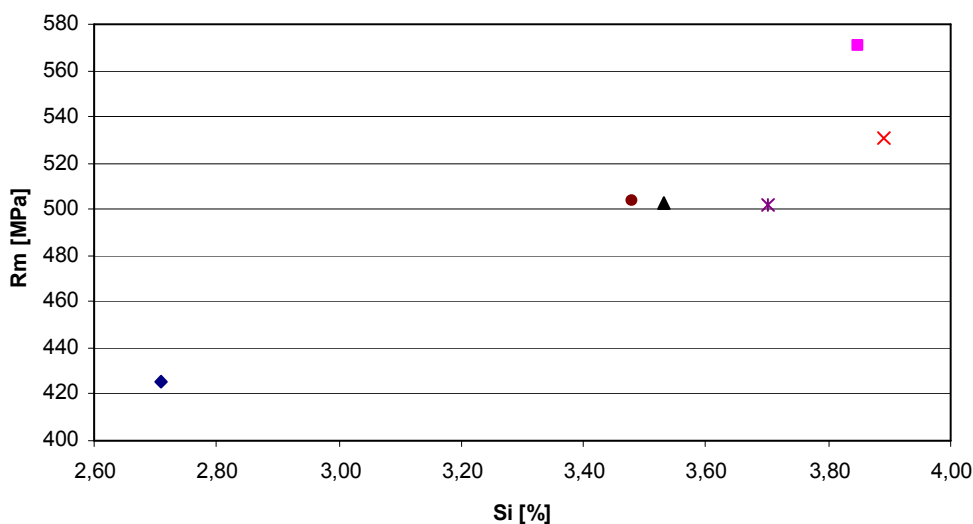
Tavba	Si [%]	Metalografická struktura litiny	
		Tvar, velikost a rozložení grafitu	Charakter základní kovové hmoty
JS V	2,71	40 % VI 6 + 60 % VI 7	P6 Fe 94
JS 17	3,85	10 % VI 6 + 90 % VI 7	Fe
JS 18	3,53	10 % VI 6 + 90 % VI 7	Fe
JS 19	3,89	30 % VI 6 + 70 % VI 7	Fe
JS 20	3,70	40 % VI 6 + 60 % VI 7	Fe
JS 21	3,48	40 % VI 6 + 60 % VI 7	Fe

Též, jak je zřejmé ze získaných hodnot tvrdosti, tvrdost roste se vzrůstajícím obsahem křemíku. Nárůst obsahu Si o 0,8 % vede k zvýšení tvrdosti minimálně o 20 HB. Nárůst tvrdosti není lineární s nárůstem obsahu křemíku. U tavby JS 20 lze pozorovat pokles tvrdosti vzhledem k nižšímu obsahu Si v tavbě JS 18, tento pokles není významný. U tavby JS 17 lze pozorovat větší pokles tvrdosti vzhledem k nižšímu obsahu Si v tavbě JS 19. Tyto skutečnosti dokumentuje grafická závislost, viz obr. 3.65.



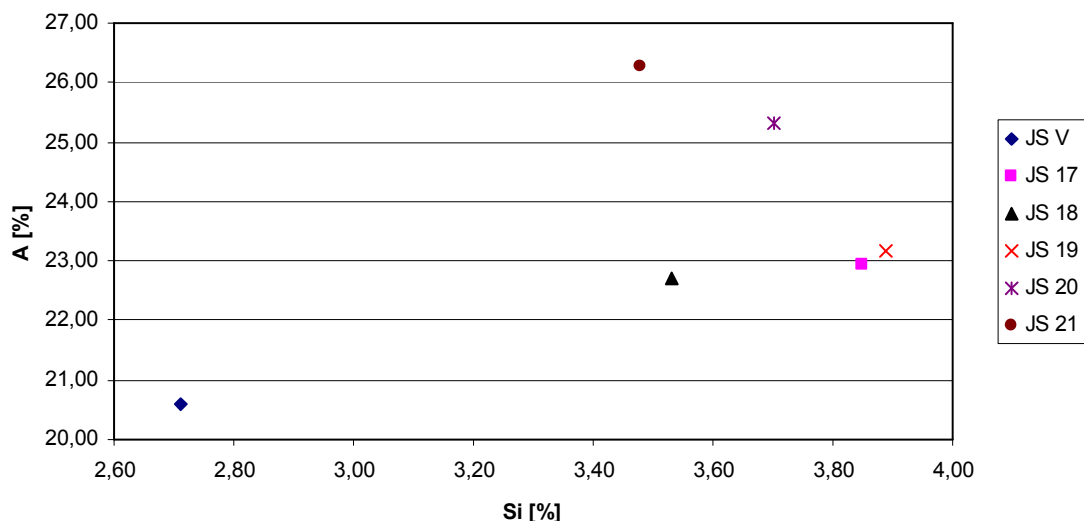
Obr. 3.65 Grafické zobrazení tvrdosti na obsahu křemíku (bloky tvaru Y)

Také hodnoty meze pevnosti se vzrůstajícím obsahem křemíku se zvyšují. Trend růstu a poklesu hodnot meze pevnosti je podobný průběhu hodnot tvrdosti. Zvýšení obsahu křemíku o 0,8 % vedlo k nárůstu pevnosti o cca 80 MPa, viz obr. 3.66. Dle normy ISO 1083:2004 (E). má být pevnost v tahu cca 500 MPa do tloušťky odlitku 30 mm.



Obr. 3.66 Grafické zobrazení meze pevnosti na obsahu křemíku (bloky tvaru Y)

Na obr. 3.67 je zachycen průběh zvyšování tažnosti při současném zvyšování obsahu Si. Dle normy ISO 1083:2004 (E). má být tažnost min. 10 % do tloušťky tuhnutí odlitku 30 mm.



Obr. 3.67 Grafické zobrazení tažnosti na obsahu křemíku (bloky tvaru Y)

3.4.2 Vyhodnocení destiček

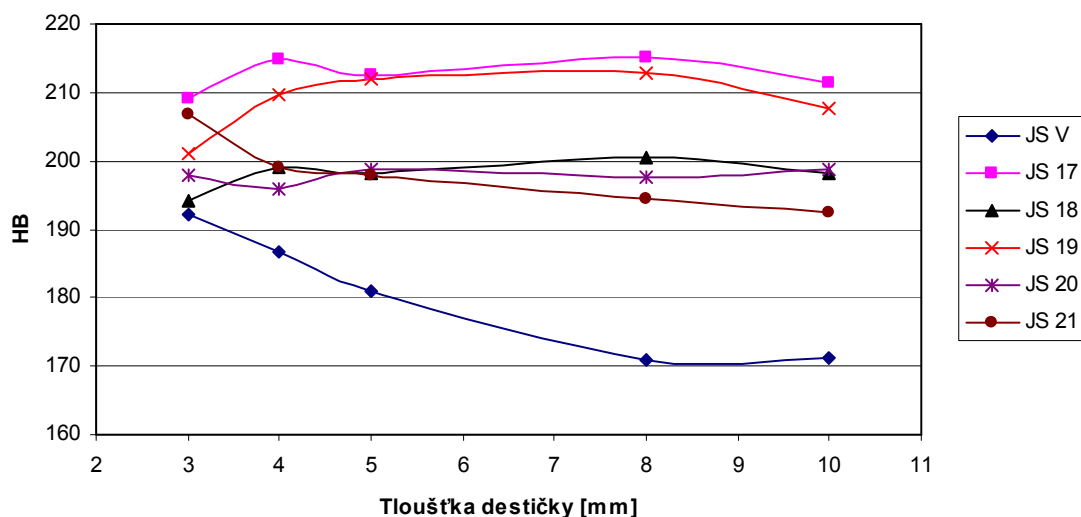
Se zvyšujícím obsahem křemíku narůstá podíl feritu v základní kovové matici. Obsah feritu narůstá se zvýšením tloušťky destiček. Při nejmenším obsahu křemíku 2,71 % a nejmenší tloušťce stěny má grafit nejmenší velikost, při nárůstu tloušťky stěny se grafit zvětšuje. Celkově nemá zvýšený obsah křemíku ani tloušťka stěny vliv na velikost grafitu, viz tab. 3.20.

Jak je ze získaných výsledků patrné, získání základní feritické kovové hmoty u odlévaných destiček je více citlivější na tloušťku stěny odlitků. Než je tomu u bloků tvaru Y, kde základní tloušťka při tuhnutí odlitků byla cca 25 mm. Z tabulky 3.17 je patrné, že čistě feritickou základní kovovou hmotu vykazují odlitky tloušťky 5, 8, a 10 mm z tavby JS 17. Při této tavbě byly použity tyto suroviny, očkovačla a modifikátory: 26,69 kg korelu, 1,107 kg FeSi75, 0,16 kg FeSi75, 0,107 kg Superseedu, 0,0043 kg KVZ a 0,424 kg MgFeSi.

Tab. 3.20 Struktura destiček

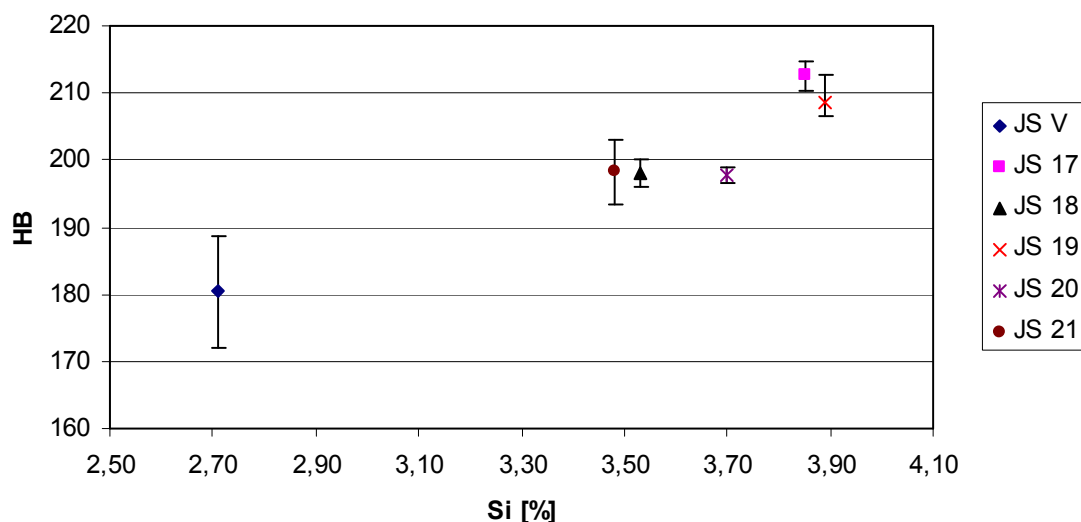
Tavba	Tloušťka destičky [mm]	Metalografická struktura litiny	
		Tvar, velikost a rozložení grafitu	Charakter základní kovové hmoty
JS V	3	20 % VI 7 + 80 % VI 8	P70 Fe 30
	4	30 % VI 6 + 70 % VI 7	P45 Fe 55
	5	30 % VI 6 + 70 % VI 7	P20 Fe 80
	8	30 % VI 6 + 70 % VI 7	P20 Fe 80
	10	30 % VI 6 + 70 % VI 7	P20 Fe 80
JS 17	3	100 % VI 7	P6 Fe 94
	4	100 % VI 7	P6 Fe 94
	5	100 % VI 7	Fe
	8	100 % VI 7	Fe
	10	100 % VI 7	Fe
JS 18	3	100 % VI 7	P20 Fe 80
	4	100 % VI 7	P20 Fe 80
	5	100 % VI 7	P20 Fe 80
	8	100 % VI 7	P6 Fe 94
	10	100 % VI 7	P6 Fe 94
JS 19	3	100 % VI 7	P20 Fe 80
	4	100 % VI 7	P20 Fe 80
	5	100 % VI 7	P20 Fe 80
	8	100 % VI 7	P6 Fe 94
	10	100 % VI 7	P6 Fe 94
JS 20	3	100 % VI 7	P45 Fe 55
	4	100 % VI 7	P45 Fe 55
	5	100 % VI 7	P45 Fe 55
	8	100 % VI 7	P20 Fe 80
	10	100 % VI 6	P20 Fe 80
JS 21	3	100 % VI 7	P45 Fe 55
	4	100 % VI 7	P20 Fe 80
	5	100 % VI 7	P20 Fe 80
	8	100 % VI 7	P20 Fe 80
	10	20 % VI 6 + 80 % VI 7	P20 Fe 80

Při sledování tvrdosti destiček v závislosti na jejich tloušťce bylo zjištěno, že při růstu tloušťky stěn nedochází k výrazným změnám v tvrdosti. Hodnoty tvrdosti se téměř neliší. U tavby JS V dochází k mírnému poklesu tvrdosti, viz obr. 3.68.



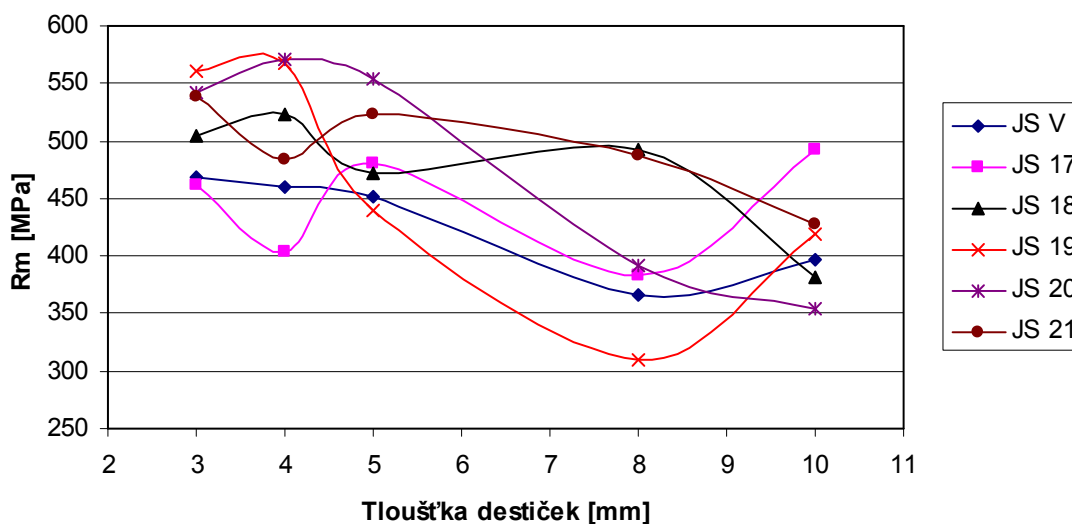
Obr. 3.68 Závislost tvrdosti na tloušťce (odlitky tvaru destiček)

Při zvyšování obsahu křemíku dochází k zvýšení tvrdosti, nejvyšší tvrdosti dosahují destičky z tavby JS 17 s obsahem 3,85 % Si. Nejnižší hodnoty tvrdosti jsou u tavby JS V, viz obr. 3.69.



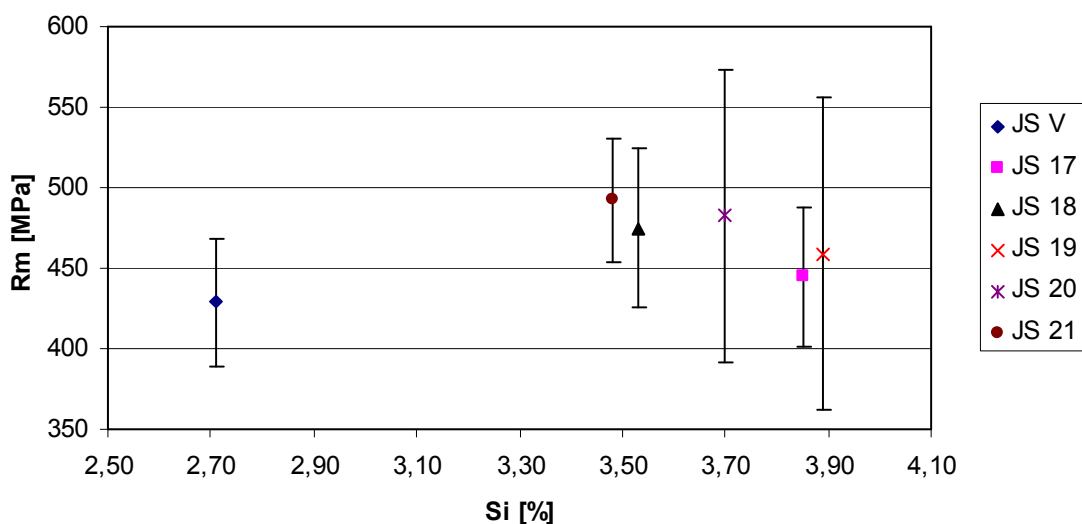
Obr. 3.69 Grafické zobrazení tvrdosti na obsahu křemíku

U taveb JS V a JS 20 lze pozorovat pokles meze pevnosti s narůstající tloušťkou stěny destičky. Hodnoty meze pevnosti z taveb JS 17 a JS 19 nevykazují žádnou závislost na tloušťce. Hodnoty meze pevnosti u taveb JS 18 a JS 21 mají snižující se trend viz obr. 3.70.



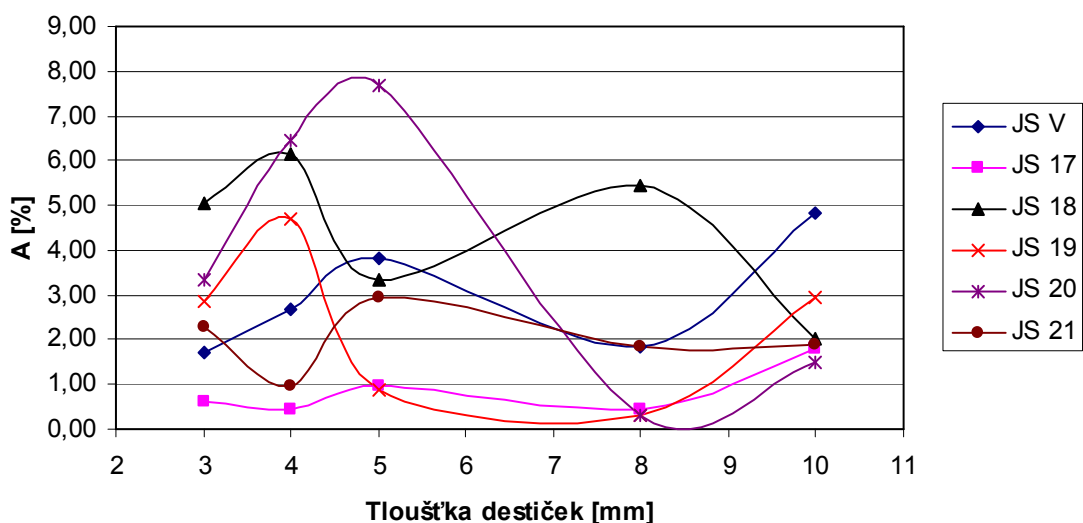
Obr. 3.70 Závislost meze pevnosti na tloušťce destiček

Zvýšením obsahu křemíku o 0,8 % vede ke k nárůstu meze pevnosti o cca 70 MPa, další nárůst obsahu křemíku ale vede k poklesu pevnosti, viz obr. 3.71.



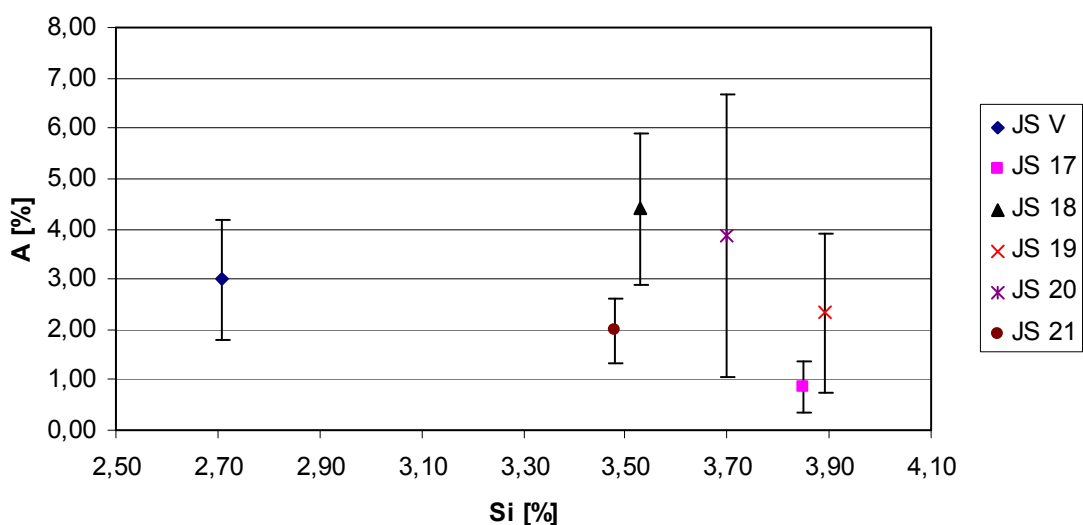
Obr. 3.71 Grafické zobrazení meze pevnosti na obsahu křemíku

Z jištěných hodnot tažnosti nelze získat žádnou závislost na tloušťce destiček, viz obr. 3.72.



Obr. 3.72 Závislost tažnosti na tloušťce destiček

Tažnosti všech taveb vyráběných destiček dosahují velmi nízkých hodnot. U tavy JS 20 je rozptyl tažností velmi výrazný. Tažnost na obsahu křemíku nevykazuje žádnou závislost, viz obr. 3.73. Současně k tomu je možno konstatovat, že zkušební odlitky tvaru destiček o tloušťce 3, 4, 5, 8 a 10 mm jsou výrazně menší hodnoty, než je předpokládaná tloušťka odlitku $t \leq 30$ mm, jak udává norma ISO 1083:2004 (E).



Obr. 3.73 Grafické zobrazení tažnosti na obsahu křemíku (odlitky destiček)

4. DISKUSE VÝSLEDKŮ

Poznatky a výsledky obsažené v této práci přináší dílčí informace o možnostech metalurgické přípravy a odlévání litiny s vyšším obsahem křemíku. Jak je obecně známo, tato litina nebyla doposud vyráběna. Avšak až výsledky prof. BJÖRKEGREN [8] ze Švédska, který se zabývá výrobou litiny vhodnou pro automobilový průmysl s vyšším obsahem Si. Výsledky jeho výzkumu byly zpracovány do ISO 1083:2004 (E). Tato litiny se vyznačuje pevností cca 500 MPa, tvrdostí 185 až 215 HB a minimální tažností 10 %, pro odlitky tuhnoucí s tloušťkou stěny ≤ 30 mm.

Na tuto litinu lze pohlížet, v podstatě jako na litinu s kuličkovým grafitem legovanou, k čemuž přispívá vyšším obsahem Si a tím lze dosáhnout její specifické vlastnosti. Mezi litiny legované se řadí především litiny s lupínkovým grafitem, popř. litiny s kuličkovým grafitem, které jsou vyráběny především jako litiny žáruvzdorné, jejichž hlavní přísadu tvoří nejčastěji tyto prvky chrom, křemík a hliník. Přítomnost těchto prvků zvyšuje odolnost litiny proti oxidaci při vysokých teplotách až do 900 °C, [5]. Jednou z těchto litin je litina se zvýšeným obsahem křemíku (5 až 8 %). V tomto případě křemík zmenšuje růst litiny při cyklickém tepelném namáhání i její oxidaci. Tato litina se vyrábí buď s lupínkovým nebo kuličkovým grafitem. Grafit ve tvaru kuliček zvyšuje odolnost litiny proti oxidaci a snese teplotu až 950 °C. V této souvislosti je nutno konstatovat, že BJÖRKEGREN [8] se nezabýval litinou s vyšším obsahem křemíku za účelem její žáruvzdornosti, ale chtěl vyrobit litinu, která by měla značné uplatnění v automobilovém průmyslu s ohledem na její homogenní mechanické vlastnosti. Proto při výrobě litiny uvažoval od 3,2 do 3,7 % křemíku. Jak je obecně známo křemík v litinách zvyšuje tvrdost feritu.

Křemík patří mezi základní prvky, který má grafitotvorný účinek, pro LKG je jeho mezní obsah 3,5 % dle ČSN EN 1559-3. Chemické složení litiny ovlivňuje grafitizační schopnost při tuhnutí a transformaci při eutektoidní teplotě. Křemík patří mezi prvky s grafitizačním účinkem, tzn. že podporují tuhnutí podle stabilního diagramu Fe – C a vyloučení uhlíku ve formě grafitického eutektika. Chemické složení ovlivňuje transformaci austenitu. Křemík patří mezi feritotvorné prvky, podporují vznik feritické základní kovové matrice, dále způsobuje posun eutektického bodu směrem doleva. Křemík ovlivňuje

mechanické vlastnosti litiny, zvyšuje jejich pevnost a tvrdost, snižuje tažnost.

Požadavky na litinu s kuličkovým grafitem shrnuje norma ČSN EN 1563. Zavádí označení litiny podle hlavní požadované vlastnosti. Norma předepisuje, aby převážné množství získaného grafitu mělo typ V a VI, který je definován normou EN ISO 945: 1994. Z tab. 3.17. je patrné, že veškerý grafit je vyloučen ve tvaru VI, v různém poměru velikosti 6 a 7. Kovová matice je normou určenou na základě mechanických vlastností litiny, a to pevností v tahu a tažností (viz. tab. B.1 normy ČSN EN 1563).

Označení litiny je dáno vzrůstající řadou hodnot pevnosti v tahu (350 až 200 MPa) a zároveň snižující se hodnotou tažností (22 až 2 %). Nárůst pevnosti litiny je následován vzrůstem obsahu perlitu v základní kovové hmotě. Zvýšeným obsahem křemíku došlo k ovlivnění krystalizace taveniny, od obsahu 3,48 % Si nevzniká žádný Fe_3C , kovová matice je tudíž čistě feritická. Oproti normě se se zvyšující pevností v tahu zvyšuje i tažnost, což pravděpodobně způsobila feritická matice.

Podle rozsahu tvrdosti 170 až 230 HB (ČSN EN 1563) lze získanou litinu označit jako EN – GJS – HB 200, která by měla dosáhnout pevností v tahu 500 MPa, což platí. Součástí normy ISO 1083: 1004(E), která byla nahrazena normou ČSN EN 1563, je kapitola týkající litiny s kuličkovým grafitem se zvýšeným obsahem Si, která předepisuje při obsahu 2,7 % Si pevnost 500 MPa a tažnost 10 % pro odlitky s tloušťkou stěny ≤ 30 mm.

Pevnost v tahu bylo dosaženo na minimální hranici, ale tažnost byla překročena 2,5 krát. Protože chemické složení taveb bylo dodrženo, viz tab. 3.8, je zvýšená tažnost důsledkem čistě feritické matrice, neboť hodnoty mechanických vlastností litiny jsou odvozeny pro matici, která obsahuje méně než 100 % feritu.

Pro odlití destiček 3 až 10 mm tloušťky není vytvořena žádná norma, která by definovala jednotlivé mechanické vlastnosti, neboť norma ISO 1083: 2004 (E) speciálně její část Spheroidal graphite cast irons with high silicon content“, se zabývá vyhodnocením mechanických vlastností odlitků bloku tvaru Y. Výroba destiček měla ověřit, zda dojde ke změně mechanických vlastností, pokud bude odlit tenkostěnný odlitek. Pozorováním mechanických výbrusů získaných vzorků byl určen typ grafitu podle normy ČSN EN ISO 945, tvar grafitu v litině s kuličkovým grafitem je požadován V nebo VI, což všechny

pozorované vzorky splňují. Velikost grafitu destiček je oproti grafitu bloku tvaru Y je menší. Díky rychlejšímu odvodu tepla a rychlejší krystalizaci jsou velikost grafitu menší.

Základní kovová hmota matrice obsahuje velké množství feritu, nejvíce při větších tloušťkách stěny. Nárůst obsahu křemíku nekoresponduje s nárůstem obsahu feritu, ale lze pozorovat rostoucí trend.

Tvrдость HB se zvyšuje s rostoucím obsahem křemíku, je potvrzen vliv křemíku na ferit, došlo k nárůstu tvrdosti. Hodnoty tvrdosti se ale nemění v závislosti na tloušťce stěny nebo jen nepatrně. Změna tvrdosti nemá žádný trend při zvyšování tloušťky odlitků. Nárůst tvrdosti je následován i růstem pevnosti v tahu litiny. Vzrůst pevnosti v tahu je malý při zvyšování obsahu křemíku a při rostoucí tloušťce stěny postupně klesá. Vyšší hodnoty pevnosti v tahu jsou pravděpodobně důsledkem zpevnění feritické matrice křemíkem.

Získané hodnoty tažnosti nelze posuzovat ani z hlediska růstu tloušťky stěny ani z hlediska obsahu křemíku. Špatná tažnost odlitých destiček byla pravděpodobně způsobena přítomností neidentifikované fáze.

5. ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo získat, zpracovat a následně pomocí experimentálních měření ověřit poznatky výroby tenkostěnných odlitků z litiny s kuličkovým grafitem s vyšším obsahem Si pro automobilový průmysl.

Diplomová práce je rozdělena do dvou stěžejních částí. První část se zabývá shrnutím dosavadních poznatků o výrobě litiny s kuličkovým grafitem, o metalurgických procesech a ovlivnění struktury a mechanických vlastností.

Druhá část je experimentální, zjišťují se zde hodnoty mechanických vlastností, jsou to tvrdost, pevnost v tahu a tažnost. Je zde popsána struktura jednotlivých odlitků z různých taveb. Experimenty byly sledovány a hodnoceny od odlévání až po vyhodnocení vlastností získaných odlitků.

Z poznatků a výsledků provedených experimentů lze vyvodit několik dílčích závěrů:

1. Pro výrobu LKG s vyšším procentem (cca 3,3 až 3,9 % Si) lze doporučit středofrekvenční indukční pec, s kyselou vyzdívkou např. s obchodním označením Calderys SILICA MIX 7A. Též lze doporučit modifikační a odlévací pánev (Sandwich) s kyselou vyzdívku ACYKUP. Pro tavící pec INDUKCE (40 kg) lze doporučit 6,19 kg surového železa SOREL, 12,35 kg vratu (LKG), 0,044 kg FeSi75 a 0,023 kg FeMn65. Následně je nutné provést modifikaci 0,453 kg MgFeSi. Očkování provádět v pánvi 0,151 kg FeSi75, v případě potřeby změřit aktivitu kyslíku v tavenině a provést druhý stupeň očkování 0,1 kg Superseed 75. Tato tavba, včetně dodržování všech metalurgických zásad, vede ke získání LKG s kuličkovým grafitem s feritickou matricí s grafitem pravidelného tvaru, typ VI.

2. Navržený a odzkoušený postup přípravy taveniny litiny s vyšším obsahem Si je současně zárukou i správných hodnot mechanických vlastností, které udává ISO 1083:2004 (E), tj. minimální pevnost v tahu 500 MPa, min. tažnost 10 % při tloušťce odlitku cca 30 mm a tvrdost 185 až 215 HB.

3. Vyšší procento křemíku, tj. než 2,0 % způsobuje při správném vedení tavby vznik čistě feritické kovové matrice litiny s grafitem pravidelného tvaru, typ VI. Současně vyšší procento křemíku v litině způsobuje zvýšení meze pevnosti, tvrdosti a tažnosti.

4. Při odlévání velmi tenkých odlitků, jako byly použité destičky tloušťky 3, 4, 5, 8, 10 mm výše uvedená metalurgie nevede ke vzniku čistě feritické matrici (obzvláště v tenkých destičkách), ale vzniká matrice feriticko-perlitická s grafitem typu VI, ale menší velikost. I u takto tenkých odlitků vyšší procento křemíku způsobuje nárůst pevnosti v tahu, tvrdosti. Avšak tvrdost je závislá na tloušťce destičky. To znamená destičky menší tloušťky vykazovaly nepatrně vyšší tvrdost. Takto tenké odlitky, však nesplňují hodnotu předepsané tažnosti 10 %. Tato hodnota je v příslušné normě ISO 1083:2004 (E) je předepsána u odlitků tloušťky do 30 mm.

5. Při odlévání průmyslově vyráběných odlitků (průmyslových odlitků) s různou tloušťkou stěn od 6 do 55 mm byla zjištěna tvrdost v rozmezí 191 až 202 HB. Odlitky vykazovaly odlišnější strukturu oproti Y blokům, např. struktura páky na tloušťce 6 mm byla feriticko-perlitická (P6Fe94) s grafitem typu 90% VI 5 + 10 % III 5. Příprava taveniny byla opět provedena v indukční peci se stejnými podmínkami tavení a lití, avšak bylo jiné složení kovové vsázky. Bylo použito 3,6 kg SOREL, 6,95 kg vrat (LKG – slévárna Turnov) a 5,75 kg vrat (LKG- naše pracoviště). Očkovadlo 0,098 kg FeSi75 a 0,065 kg Superseed. Byl použit modifikátor 0,0029 kg KVZ a 0,293 kg MgFeSi.

Pro další zkoumání litin s kuličkovým grafitem a vyšším obsahem křemíku by bylo vhodné zjistit odolnost proti porušení rázem, která nejvíce odpovídá předpokládanému chování tenkostěnných odlitků v aplikaci pro automobilový průmysl.

Z důvodu, že se jedná o základní výzkum výroby litiny nebylo provedeno ekonomické hodnocení.

6. SEZNAM LITERATURY

- [1] KOWALSKI, A.: Těžké hořčíkové předslitiny typu NiCuMg pro výrobu vysoce jakostní tvárné litiny. Slévárství, 1988, č.4-5, str. 167-172.
- [2] PLUHAŘ, J., KORITTA, J.: Strojírenské materiály. 1. vyd. Praha 1966.
- [3] OTAHAL, V.: Tvárná litina, Litina s kuličkovým grafitem, Monografie, OtahalConsult, Brno, www.otahalconsult.cz
- [4] ROUČKA, J.: Metalurgie litin. [Skripta]. VUT Brno, 1998.
- [5] NOVÁ I.: Teorie slévání. [Skripta]. FS-KSP, TU v Liberci 2007.
- [6] PLACHÝ, J.; NĚMEC, M.: Metalurgie a technologie slévárenských slitin. [Skripta], FS - ČVUT Praha 1993.
- [7] EXNER, J, ČECH, J., RUSÍN, K.: On Some Physical Properties Of Dynamically Stressed Automobile Gray Iron Castings. In: 49. International Foundry Congress, Chicago, 1982, ref. 20.
- [8] BJÖRKEGREN, J.E., HAMBERG, K.: Ductile iron with better machinability compared to conventional grades. Foundry Trade Journal č. 10/1998, p. 386 to 391.

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do její skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Liberci, 23. května 2008

.....

Libor Junek
Čálovice 20
507 43 Sobotka

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act no. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultations with the head of the thesis and a consultant.

In Liberec, 23th May 2008

.....

Libor Junek
Čálovice 20
507 43 Sobotka